

*Gestión Socio Ambiental*

*PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE PARA EL  
TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES EN LA  
UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR*

*AURA LIZETH CANTOR CASTRO Cod. 064091036*

*Universidad Libre  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Ambiental  
Bogotá D.C.*

*2014*

*Gestión Socio Ambiental*

*PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE PARA EL  
TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES EN LA  
UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR*

*AURA LIZETH CANTOR CASTRO Cod. 064091036*

*Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental*

*Director: María Teresa Holguín Aguirre.  
Esp. Manejo Integrado del Medio Ambiente  
Esp. Evaluación de Impacto Ambiental  
Ms. Ciencias de la Educación con Énfasis en Gestión*

*Universidad Libre  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Ambiental  
Bogotá D.C.*

*2014*

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C, 25 Abril 2014.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios quien en su profundo amor me ha sabido levantar dándome un consejo y las fuerzas necesarias para seguir adelante. A mis padres porque sin su apoyo nada de esto sería posible, mi madre que con su sabiduría ha hecho de mí la persona que soy ahora que con sus preocupaciones y reprensiones que con el tiempo han sido justificadas me llevaron por el camino difícil pero hermoso que hasta ahora he emprendido, mi padre que con su apoyo incondicional siempre ha sido un pilar muy grande en mi vida.

A mi familia que con su fe siempre puesta en mí me han impulsado a superarme y ser mejor persona día a día. Porque por medio del conocimiento y las experiencias vividas es como el ser humano alcanza su máximo ser.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo dar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Libre que me brindó su apoyo incondicional con la investigación, y que además me permitió a lo largo de toda la carrera formarme profesionalmente y aún más como persona. Agradezco especialmente al programa de Ingeniería Ambiental y al decano de la Facultad de Ingeniería Jorge René Silva Larrota por su respaldo en la realización del presente trabajo.

A la profesora María Teresa Holguín por el apoyo y dirección que me brindo para poder realizar de manera satisfactoria este proyecto que es la culminación de lo aprendido a lo largo de este ciclo.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería que con sus esfuerzos y empeño puestos en mi formación como Ingeniera Ambiental me han proporcionado los conocimientos necesarios para poder desempeñarme en mi vida profesional.

A todas aquellas personas que valoraron mi esfuerzo y compromiso durante el desarrollo del presente trabajo y que de una u otra manera me brindaron su ayuda.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	16
2. JUSTIFICACIÓN .....	18
3. OBJETIVOS .....	20
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. MARCO REFERENCIAL .....	21
4.1 MARCO HISTORICO .....	21
4.2 ANTECEDENTES.....	22
4.2.1 Antecedentes del manejo de residuos orgánicos en otras instituciones educativas	22
4.2.2 Antecedentes del manejo de residuos orgánicos en la universidad libre.....	25
4.3 LOCALIZACIÓN .....	27
4.4 MARCO TEORICO .....	30
4.4.1 Los residuos orgánicos como potencial para el compostaje.....	30
4.4.2 Compostaje como proceso de transformación de la materia orgánica .....	31
4.4.2.1 Tipos de compost .....	32
4.4.3 Fases del compostaje.....	33
4.4.3.1 Mesófila.....	33
4.4.3.2 Termófila.....	34
4.4.3.3 Enfriamiento.....	34
4.4.3.4 Maduración.....	34
4.4.4 Factores que condicionan el proceso de compostaje.....	35
4.4.4.1. Factores abióticos.....	35
4.4.4.2.Factores bióticos.....	39
4.4.5 Tecnologías de compostaje .....	40
4.4.5.1 Compostaje en hileras .....	41
4.4.5.2 Compostaje en pila estática .....	42

4.4.5.3 Sistemas domésticos usados en la actualidad .....	45
4.4.5.4 Sistemas en túnel o en reactor .....	45
4.4.6 Ventajas del uso del compost .....	47
4.4.6.1 Ventajas nutritivas para las plantas.....	47
4.4.6.2 Ventajas en conservación del suelo.....	48
4.5 MARCO CONCEPTUAL .....	48
4.6 MARCO LEGAL.....	52
5. DISEÑO METODOLÓGICO .....	62
5.1 CLASE DE INVESTIGACIÓN .....	62
5.1.1 Hipótesis del trabajo de grado .....	62
5.1.1.1 Hipótesis de trabajo: .....	63
5.1.1.2 Hipótesis nula: .....	63
5.1.2 Variables de Trabajo.....	63
5.2 DISEÑO ESTADÍSTICO .....	64
5.3 DISEÑO METODOLÓGICO .....	67
5.3.1 Fase 1 .....	67
5.3.2 Fase 2 .....	67
5.3.2.1 Dimensionamiento y adecuación de las pilas.....	68
5.3.2.2 Compostaje en planta piloto.....	71
5.3.2.3 Parámetros de Control.....	72
5.3.3 Fase 3 .....	72
5.3.4 Fase 4 .....	75
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	76
6.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL DEL PROCESO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR .....	76
6.1.1 Generación de residuos sólidos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular.....	78
6.1.2 Situación inicial del área de trabajo.....	81
6.1.3 Adecuación del área de trabajo .....	81
6.2. COMPOSTAJE EN PLANTA PILOTO .....	85
6.2.1 Dosificación de microorganismos eficientes (EM) .....	87
6.2.2 Dirección velocidad del viento en la zona de la planta piloto.....	87

6.2.2.1 Adecuación de tubería y manguera perforada.....	89
6.2.3 Determinación capacidad de campo en planta piloto .....	90
6.2.4 Riego para garantizar humedad.....	91
6.2.5 Volumen de lixiviado producido durante el proceso en planta piloto .....	93
6.2.6 Monitoreo de parámetros en planta piloto .....	94
6.2.6.1 Tratamiento uno.....	95
6.2.6.2 Tratamiento dos.....	98
6.2.6.3 Tratamiento tres.....	102
6.2.6.4 Tratamiento cuatro.....	105
6.2.6.5 Tratamiento cinco .....	109
6.2.6.6 Análisis estadístico anova de los puntos claves en sas 9.2.....	112
6.2.7 Cantidad de compost obtenido en planta piloto.....	118
6.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL COMPOST OBTENIDO EN PLANTA PILOTO A PARTIR DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA PARA ABONOS ORGÁNICOS NTC 5167. ....	120
6.3.1 Parámetros medidos a las muestras sólidas .....	121
6.3.1.1 Carbono Orgánico Oxidable Total. C.O.ox (%C).....	122
6.3.1.2 Contenido de Humedad (%).....	123
6.3.1.3 Contenido de cenizas (%).....	124
6.3.1.4 Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) .....	124
6.3.1.5 Capacidad de retención de humedad (%) .....	126
6.3.1.6 pH.....	126
6.3.1.7 Contenido de Nitrógeno total (%N) .....	127
6.3.1.8 Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) .....	129
6.3.1.9 Relación C/N.....	129
6.3.1.10 Magnesio Total (Mg) .....	130
6.3.1.11 Calcio Total (Ca).....	131
6.3.1.12 Hierro Total (Fe) .....	132
6.3.1.13 Cobre Total (Cu) .....	133
6.3.1.14 Manganeso Total (Mn).....	133
6.3.1.15 Sodio Total (Na).....	134
6.3.1.16 Potasio Total (K) .....	135



6.3.1.17 Fósforo Total (P) .....	136
6.3.1.18 Metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), y Plomo (Pb) .....	137
6.3.2 Analisis microbiologico del compost obtenido en planta piloto .....	138
6.3.3 Caracterización física y química del lixiviado obtenido en planta piloto como abono liquido a partir de la norma tecnica colombiana para abonos organicos NTC 5167 .....	144
6.3.3.1 Analisis microbiologico del lixiviado obtenido en planta piloto como abono líquido .....	145
6.4. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR .....	147
6.4.1 Pretratamiento .....	148
6.4.2 Tratamiento de los residuos para la producción de compost.....	152
6.4.2.1 Área de almacenamiento del compost obtenido.....	153
6.4.2.2 Dosificación de microorganismos eficientes (EM) .....	154
6.4.2.3 Diseño de las pilas de compost.....	156
6.4.2.4 Riego para garantizar humedad.....	159
6.4.2.5 Adecuación de tubería o manguera perforada .....	161
6.4.2.6 BOMBA RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADO .....	162
6.5 POSTRATAMIENTO .....	168
6.6 BENEFICIO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE EN UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR .....	168
6.7 ANALISIS FINANCIERO.....	168
6.7.1 Flujo de fondos .....	170
6.7.2 Relación beneficio / costo .....	172
6.7.3 Periodo de recuperabilidad de la inversión .....	173
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	174
BIBLIOGRAFÍA.....	177
ANEXO 1.....	186

## GRAFICAS

Gráfica 1. Relación de porcentajes en peso de generación de residuos sólidos orgánicos en algunos países y ciudades del mundo. ....	21
Gráfica 2. Porcentaje de generación de residuos sólidos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular .....	78
Gráfica 3. Evolución de la temperatura en el tratamiento 1.....	96
Gráfica 4. Evolución de la humedad en el tratamiento 1. ....	97
Gráfica 5. Evolución del pH en el tratamiento 1.....	98
Gráfica 6. Evolución de la temperatura en el tratamiento 2.....	99
Gráfica 7. Evolución de la humedad en el tratamiento 2. ....	100
Gráfica 8. Evolución del pH en el tratamiento 2.....	101
Gráfica 9. Evolución de la temperatura en el tratamiento 3.....	102
Gráfica 10. Evolución de la humedad en el tratamiento 3. ....	103
Gráfica 11. Evolución del pH en el tratamiento 3.....	104
Gráfica 12. Evolución de la temperatura en el tratamiento 4.....	105
Gráfica 13. Evolución de la humedad en el tratamiento 4. ....	107
Gráfica 14. Evolución de la humedad en el tratamiento 4. ....	108
Gráfica 15. Evolución de la temperatura en el tratamiento 5.....	109
Gráfica 16. Evolución de la humedad en el tratamiento 5 .....	110
Gráfica 17. Evolución de la temperatura en el tratamiento 5.....	111
Gráfica 18. Porcentaje de compost obtenido del valor inicial de residuos por cada tratamiento. ....	119
Gráfica 19. Valores de Carbono Orgánico Oxidable Total. C.O.ox (%C).....	122
Gráfica 20. Humedad máxima (%).....	123
Gráfica 21. Contenido de Cenizas (%).....	124
Gráfica 22. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g).....	125
Gráfica 23. Capacidad de retención de humedad (%).....	126
Gráfica 24. pH.....	127
Gráfica 25. Contenido de Nitrógeno total (%N) .....	128
Gráfica 26. Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) .....	129
Gráfica 27. Relación C/N.....	129
Gráfica 28. Magnesio Total (Mg) en mg/kg.....	130
Gráfica 29. Calcio Total (Ca) en mg/kg.....	131
Gráfica 30. Hierro Total (Fe) en mg/kg .....	132
Gráfica 31. Cobre Total (Cu) en mg/kg.....	133
Gráfica 32. Manganeseo Total (Mn) en mg/kg.....	134
Gráfica 33. Sodio Total (Na) en mg/kg .....	135
Gráfica 34. Potasio Total (K) en mg/kg .....	135
Gráfica 35. Fósforo Total (P) en mg/kg .....	137
Gráfica 36. Análisis Microbiológico de abonos orgánicos. UFC/g.....	139
Gráfica 37. Análisis de Enterobacterias y <i>Salmonella</i> sp. UFC/g.....	141
Gráfica 38. Análisis de Nematodos. Individuos/250cm <sup>3</sup> .....	142
Gráfica 39. Análisis Microbiológico de abonos orgánicos. UFC/ ml .....	145

## FIGURAS

Figura 1. Pila de Compost tipo Pórtico (conformada por columnas).....	24
Figura 2. Residuos Generados en la Universidad Libre .....	26
Figura 3. Composición de los residuos en la Universidad Libre Sede Bosque.....	27
Figura 4. Cartografía Básica Bogotá D.C.....	28
Figura 5. Localización Universidad Libre Sede Bosque Popular, Bogotá Colombia. ....	28
Figura 6. Localización Universidad libre, Sede Bosque Popular, Bogotá Colombia. ....	29
Figura 7. Localización Planta Piloto de Compostaje en el Campus Universitario, Bogotá Colombia. ....	29
Figura 8. Fases del proceso de compostaje .....	35
Figura 9. Compostaje en montones o pilas.....	44
Figura 10. Cubierta del área de compostaje .....	44
Figura 11. Dimensión de una pila en planta piloto. ....	68
Figura 12. Vista superior zona piloto en metros (m).....	70
Figura 13. Vista lateral zona piloto.....	71
Figura 14. Formato de control.....	75
Figura 15. Rosa de Vientos Bogotá D.C .....	88
Figura 16. Posición de la tubería tratamiento 2 y 4      Foto 31. Posición de la tubería tratamiento 2 y 4.....	90
Figura 17. Posición de la manguera tratamiento 3 y 5      Foto 32. Posición de la manguera tratamiento 3 y 5.....	90
Figura 18. Supuestos a garantizar .....	113
Figura 19. Resultado prueba F día 6 semana 1.....	114
Figura 20. Test de Duncan .....	115
Figura 21. Test de SNK .....	115
Figura 22. Test Tukey.....	116
Figura 23. Test Scheffe .....	116
Figura 24. Resultado prueba F día 71 semana 11.....	117
Figura 25. Test de Tukey.....	118
Figura 26. Tanque Ajoever de 5000 litros .....	150
Figura 27. Tanque Acuaviva de 1000 litros.....	150
Figura 28. Sotr - 03/2400 (carga: 300 kg) .....	151
Figura 29. La zona de adecuación del material y la zona de trituración. ....	152
Figura 30. Vista área de almacenamiento del compost, almacenamiento de lixiviados, adecuación y trituración del material.....	155
Figura 31. Vista superior de la planta de compostaje.....	158
Figura 32. Vista lateral de la planta de compostaje.....	159
Figura 33. Esquema del bombeo para recirculación de lixiviados. ....	163
Figura 34. Curva de rendimiento de la bomba seleccionada.....	166
Figura 35. Dimensiones y características de la bomba CAC-120/12.....	167
Figura 36. Demanda de compost en la Sabana de Bogotá.....	170

## TABLAS

Tabla 1. Tipo de residuos generados en la Universidad Libre .....	27
Tabla 2. Condiciones ideales para el compostaje.....	39
Tabla 3. Función de los Macronutrientes .....	47
Tabla 4. Variables del problema. ....	63
Tabla 5. ANOVA .....	64
Tabla 6. Condiciones a las que estuvieron sometidas las pilas .....	69
Tabla 7. Requisitos específicos para muestras sólidas según norma para abonos orgánicos NTC 5167.....	73
Tabla 8. Requisitos específicos para muestras líquidas según norma para abonos orgánicos NTC 5167.....	74
Tabla 9. Matriz DOFA .....	77
Tabla 10. Generación de residuos sólidos biodegradables periodo Junio a Noviembre de 2013 .....	78
Tabla 11. Generación de cunchos de café .....	80
Tabla 12. Generación de residuos de comida .....	80
Tabla 13. Montaje Planta Piloto de Compostaje .....	82
Tabla 14. Valores máximos de temperatura alcanzados. ....	95
Tabla 15. Cantidad de Compost obtenido.....	119
Tabla 16. Parámetros medidos a las muestras sólidas.....	121
Tabla 17. Parámetros caracterizados del lixiviado como abono líquido. ....	144
Tabla 18. Análisis de Enterobacterias y <i>salmonella sp.</i> .....	146
Tabla 19. Análisis de <i>Nematodos</i> . ....	146
Tabla 20. Datos de rendimiento de la bomba seleccionada. ....	166
Tabla 21. Precios usados para realizar el flujo de caja.....	169
Tabla 22. Relación Costo Beneficio (RB/C) .....	172
Tabla 23. Periodo de recuperabilidad de la inversión .....	173

## FOTOS

Foto 1. Caracterización de residuos orgánicos.....	79
Foto 2	Foto 3.....82
Foto 4	Foto 5.....82
Foto 6	Foto 7.....82
Foto 8	Foto 9.....82
Foto 10	Foto 11.....83
Foto 12	Foto 13.....83
Foto 14	Foto 15.....83
Foto 16	Foto 17.....84
Foto 18.....	84
Foto 19	Foto 20.....84
Foto 21	Foto 22.....84
Foto 23	Foto 24.....84
Foto 25	Foto 26.....85
Foto 27	Foto 28.....85
Foto 29. Monitoreo pilas de compostaje (°T, humedad y pH) .....	86
Foto 30. Dirección magnética de la tubería y manguera respectivamente. ....	88
Figura 16.Posición de la tubería tratamiento 2 y 4	Foto 31. Posición de la tubería tratamiento 2 y 4. ....90
Figura 17.Posición de la manguera tratamiento 3 y 5	Foto 32. Posición de la manguera tratamiento 3 y 5. ....90
Foto 33. Pesaje del compost .....	119
Foto 34. Determinación de la Humedad de la muestra.....	123
Foto 35. Determinación de cenizas. ....	124
Foto 36. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. ....	125
Foto 37. Determinación del pH. ....	127
Foto 38. Equipo para determinar nitrógeno total VELP DK 6 y VELP UDK 132. .	128
Foto 40. Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Hg, Ni y Pb. ....	138

## RESUMEN

El sistema de compostaje que se propuso para la Universidad Libre Sede Bosque Popular fue con base a los tratamientos cuatro y cinco que fueron seleccionados después de la evaluación en la planta piloto. Igualmente se planteó un diseño para la recirculación de los lixiviados generados en el proceso para realizar un manejo adecuado de los mismos. Los tratamientos fueron elegidos de acuerdo a tres criterios. Primero, se consideró el comportamiento de los parámetros de control en la planta piloto valorados mediante análisis estadístico (usando el software SAS 9.2); segundo se caracterizaron las muestras a partir de estudios físico químicos acorde con los parámetros establecidos en la norma NTC 5167 para abonos orgánicos; finalmente se analizaron microbiológicamente obteniendo resultados satisfactorios. El diseño contempla los residuos sólidos biodegradables a compostar, microorganismos eficientes (EM) aceleradores del proceso de degradación, aireación natural suministrada por tubería perforada de cuatro o dos pulgadas (ver los tratamiento para la selección) y empleo de melaza para mantener activa la descomposición (factor considerado durante el proceso).

**PALABRAS CLAVES:** Residuos Sólidos Biodegradables, Compostaje, Lixiviados, Aireación natural, Microorganismos Eficientes (EM).

## ABSTRACT

The composting system that was proposed for the Libre University headquarters Bosque Popular was based on four and five treatment that were selected after evaluation in pilot plant. Also was posed a design for leachates' recirculation generated in the process in order to make a suitable management of them. The treatments were selected according to three criteria. First, the behavior of the control parameters in the pilot plant valued by statistical analysis (using SAS 9.2 software); second samples were characterized physicochemical studies according with the parameters of the NTC 5167 standard for organic fertilizers; finally were analyzed microbiologically getting satisfactory results. The design includes biodegradable solid waste to composting, effective microorganisms (EM) to accelerate the process of degradation, natural ventilation provided by perforated pipe of four inch or two (refer treatments for selection) and employment of molasses to maintain active decomposition (factor considered during the process).

**KEYWORDS:** Biodegradable Solid Waste, Composting, Leachate, Natural Aeration, Effective Microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la creciente generación de residuos sólidos biodegradables que resultan en cada actividad humana y a que los espacios en rellenos o vertederos son cada vez menores, se muestra la importancia de darle otro uso a este tipo de residuos sólidos, por lo cual es necesario actuar en cada uno de los contextos de su generación como lo son las instituciones educativas, que tienen una gran responsabilidad por ser quienes difunden el conocimiento en busca de un cambio de mentalidad en las personas, por tanto deben ser las primeras en ejecutar programas o procesos para mostrar sus acciones de forma tangible.

Es por ello que el presente trabajo evaluó la forma en la que podía tratar los residuos biodegradables generados al interior de la Universidad Libre Sede Bosque Popular mediante el compostaje, probando diversas alternativas con el fin de elegir la que mejor se adaptara a las condiciones del campus universitario, teniendo en cuenta que no se tiene la mano de obra suficiente.

La forma en la que se desarrolló el trabajo consistió en cuatro fases, inicialmente se realizó un diagnóstico del proceso que se estaba realizando en la Universidad; posteriormente se evaluaron los diferentes tratamientos para luego establecer las propiedades del compost de acuerdo a la caracterización física, química y microbiológica, seleccionando la mejor o mejores opciones para el campus. Finalmente se mostró la viabilidad financiera de proyecto.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Dentro del marco del Sistema de Gestión Ambiental Académico Administrativo de la Universidad Libre (SIGAUL), se viene adelantando el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos en la línea de “Manejo Integral de Residuos Sólidos: desde sus potencialidades ambientales y empresariales”, teniendo en cuenta la alta generación de residuos, y el potencial de aprovechamiento de los mismos. El SIGAUL plantea la necesidad de buscar alternativas de aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, entendido como “el proceso mediante el cual, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos”<sup>1</sup>.

En la Universidad Libre Sede Bosque Popular se están llevando a cabo procesos de reciclaje de residuos inorgánicos mediante la comercialización de los mismos. Así mismo los residuos biodegradables, se están reincorporando a la cadena productiva a partir de un manejo básico por compostaje aerobio. Sin embargo se adolece de procesos de seguimiento y control del tipo, cantidad y calidad de material que ingresa, así como de la biomasa que se obtiene. Se tenía indicios de una alta calidad del producto final de dicho compostaje, debido a que después de ser aplicado se observaron cambios importantes en el crecimiento y color de las plantas, no se habían realizado análisis a profundidad al abono, ni al suelo de los jardines de la universidad para determinar en que han consistido dichos cambios. Se desconocían además los parámetros específicos, como: humedad relativa, temperatura, con miras a optimizar tiempo de producción del compost, cantidad de

---

<sup>1</sup>UNIVERSIDAD LIBRE. Sistema de Gestión Ambiental Académico – Administrativo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos .Bogotá, D.C.- Colombia, 2010.



recurso hídrico que se debe garantizar en la zona semanalmente, además de requerir un manejo adecuado para el control de lixiviados orgánicos provenientes de la descomposición del material biodegradable.

En un estudio realizado en 2008, se identificó que la Universidad invierte en abonos químicos en promedio un salario mínimo al año, valor que puede reinvertirse en otros insumos para el desarrollo del proyecto, que sean más amigables con el ambiente. Otro problema identificado, es la mano de obra de los trabajadores, teniendo en cuenta que la actividad de volteo no se realizaba cotidianamente en la Universidad.

Es por esto que se hace necesario proponer un diseño de un sistema de compostaje que permita el manejo integral de los residuos biodegradables que se generan al interior de la Universidad, todo en búsqueda de la reducción de la cantidad de residuos biodegradables destinados al relleno sanitario Doña Juana que equivalen al 21% del total de los residuos que se producen en la Universidad, según la caracterización realizada por el grupo PRIES en 2010.

## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el mejor tratamiento de compostaje aerobio para el aprovechamiento de los residuos sólidos biodegradables, en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y económicas del contexto?

## 2. JUSTIFICACIÓN

La problemática de los residuos sólidos ocupa un lugar prioritario frente a los problemas ambientales que enfrenta la sociedad moderna, por esta razón se busca ejecutar actividades tendientes a minimizar las cantidades de residuos que son dispuestos en rellenos sanitarios o a cielo abierto. La ley 99 de 1993<sup>2</sup> pide un manejo racional y sostenible del medio ambiente, asimismo de ésta se deducen decretos y resoluciones en materia de residuos sólidos que son de obligatorio cumplimiento para todos.

La Universidad Libre por su parte ha contemplado su responsabilidad social con el ambiente desde su misión<sup>3</sup> en donde hace suyo el compromiso por el entorno y en su visión<sup>4</sup> en la que fomenta el desarrollo sostenible con el fin de mantener el equilibrio entre el ser humano y el medio que lo rodea. Consecuente con esto la Universidad promueve técnicas como la reutilización, reciclaje, compostaje, buscando minimizar el impacto ambiental que generan los residuos en su disposición final, mantener la reducción actual de la tarifa de aseo. Para ello es necesario integrar a la comunidad universitaria mediante la investigación logrando así un vínculo que permita el desarrollo de proyectos que respondan a las necesidades del ambiente.

Considerando los objetivos del SIGAUL en cuanto al cuidado y conservación del ambiente y en particular a las grandes cantidades de residuos orgánicos que se generan en la Universidad tanto de podas de jardines, cunchos de café o café húmedo (proveniente de las cafeterías para docentes y administrativos de cada bloque), además de la necesidad permanente de abono para las plantas, se hizo necesario diseñar un sistema de compostaje que permita la mejora del proceso

---

<sup>2</sup>ADHETORO E. U. Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Medellín, 2006.

<sup>3</sup>UNIVERSIDAD LIBRE. Sistema de Gestión Ambiental Académico – Administrativo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá, D.C.- Colombia, 2010.

<sup>4</sup>Ibíd., p. 86

actual ejecutado en la Sede Bosque Popular. Asimismo en un estudio Agudelo<sup>5</sup> señala que el proyecto de manejo de orgánicos es un potencial de trabajo para la investigación, en el que se podrá monitorear y evaluar la efectividad del proceso de compostaje.

Este diseño contempla aspectos útiles en la toma de decisiones debido a que según Molina<sup>6</sup> un manejo inapropiado de los residuos biodegradables conlleva a problemas, como malos olores, entorno visualmente desagradable, hábitat apto para la proliferación de vectores generadores de enfermedades, entre otros.

Esto dará lugar a una gestión adecuada de los residuos sólidos biodegradables a través del proceso de compostaje, conforme con el Ministerio de Desarrollo Económico<sup>7</sup> la materia orgánica contenida en los residuos se convierte a una forma más estable, reduciendo su volumen y creando un material apto para cultivos y recuperación de suelos, que permite según Raviv<sup>8</sup>, revertir los procesos negativos de pérdida de nutrientes y materia orgánica permitiendo así lograr su estabilidad. Todo en búsqueda de la protección de los recursos naturales en camino al desarrollo sostenible disminuyendo así los impactos ambientales y sociales generados en la disposición final, lo cual es competencia de la gestión ambiental y por lo tanto concierne con el perfil del Ingeniero Ambiental.

---

<sup>5</sup> AGUDELO, Nikolay. MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE CAFETERÍAS Y PODA DE CÉSPEDES. 2011. Bogotá. p. 9.

<sup>6</sup> MOLINA GUZMÁN, Ana. MUNERA CHAVERRA, Ana... Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Para la Universidad de San Buenaventura, Sede Medellín. Medellín, 2009, 85 p. Trabajo de grado para optar al título de Ingenieras Ambientales. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería.

<sup>7</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título F. Bogotá, 2000.

<sup>8</sup> RAVIV, Michael. Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review. HortTechnology, Vol., 15. No 1 (January-March, 2005); p. 52–57.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

3.1.1 Proponer el diseño de un sistema de compostaje para el manejo y aprovechamiento de los residuos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, a partir del análisis de diferentes tratamientos de compostaje aerobio.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Diagnosticar la situación actual del proceso de los residuos biodegradables que se está realizando en la Universidad Libre, identificando fortalezas y aspectos a mejorar a partir de observación directa.

3.2.2. Evaluar diferentes tratamientos de compostaje aerobio para el proceso de transformación de la materia orgánica, integrando el manejo adecuado de lixiviados.

3.2.3. Establecer el uso potencial del compost como abono orgánico para su óptimo aprovechamiento, a partir de su caracterización física, química y microbiológica identificando el más adecuado según el contexto del campus universitario.

3.2.4. Determinar el beneficio ambiental obtenido y la viabilidad financiera del sistema de compostaje en la Universidad.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO HISTORICO

“La creciente atención a los problemas ambientales estrechamente relacionados con la salud humana, incluida la necesidad de reducir la cantidad creciente de residuos en las sociedades desarrolladas y el uso de materiales no renovables, han fomentado el uso del compostaje”<sup>9</sup>

“El reciclaje de residuos orgánicos a través del compostaje parece ser una práctica antigua. El primer intento de dar una base científica para el proceso de compostaje y en consecuencia diseñar sistemas de compostaje se realizó durante 1924-1926 por Howard y Wad 1931”<sup>10</sup>

Por lo cual el compostaje se ha convertido en una forma fundamental para manejar los residuos orgánicos, debido a que estos son sin duda de los más generados. A continuación se muestra la gráfica 1, en donde se relacionan el porcentaje de residuos en algunos lugares del mundo.

Gráfica 1. Relación de porcentajes en peso de generación de residuos sólidos orgánicos en algunos países y ciudades del mundo.



Fuente: Jaramillo, Gladys. 2008

<sup>9</sup> GRIGATTI, M., M. E. GIORGIONI, L. CAVANI, AND C. CLAUDIO. 2007. Vector analysis in the study of the nutritional status of Philodendron cultivated in compost-based media. *Scientia Horticulturae*, Vol., 112, p. 448–455

<sup>10</sup> HOWARD Y WAD. 1931 Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol 38, 2008. P. 311–400

Como se ve en la gráfica 1, en Colombia el 52.3% en peso de los residuos generados son residuos orgánicos, lo cual muestra que es un valor bastante elevado más de la mitad de lo que se produce en el país. Por lo tanto se hace fundamental buscar alternativas para tratar este tipo de residuos.

Gajalakshmi & Abbasi<sup>11</sup>, enuncian la importancia que tiene este proceso en la actualidad, esto debido a que hoy en día el uso de compostaje, ha adquirido una relevancia cada vez mayor, con el fin de convertir los residuos orgánicos. Ahora es necesario ejecutar estos procesos urgentemente debido a que los espacios en vertederos son cada vez más escasos y caros.

## 4.2 ANTECEDENTES

### 4.2.1 ANTECEDENTES DEL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN OTRAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS

Dentro del marco de desarrollo de la gestión de los residuos sólidos se ha impulsado la implementación de sistemas para el tratamiento de los residuos orgánicos. De aquí vale la pena resaltar las estrategias que se han estado llevando a cabo en Colegios y Universidades, entre los cuáles se encuentra la Escuela de Educación y el Colegio Nazaret en Caracas Venezuela. Según Eizaguirre<sup>12</sup>, en las instalaciones de la escuela de Educación se ha elaborado abono orgánico con la participación de estudiantes de 3er año, para la fabricación usaron cáscaras de frutas o vegetales, por el fácil manejo, a lo largo del proyecto se identificaron cuatro etapas.

En la primera, realizan un diagnóstico en donde tratan los fundamentos teóricos con respecto al suelo; luego realizan la práctica, por medio de envases plásticos

---

<sup>11</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. p. 311–400

<sup>12</sup> EIZAGUIRRE, M., MICHINEL, L., ALBORNOZ, J. 2009. Elaboración de compost como estrategia didáctica en educación (Una experiencia docente en el Departamento de Biología y Química de la Escuela de Educación, UCAB, y del colegio Nazaret, Caracas). La Escuela de Educación. Vol., 190, p. 188-195

en forma de canecas, que son forradas con papel periódico para mantener la temperatura, dentro del envase disponen en capas alternas, la materia fresca y la seca hasta alcanzar la cumbre del recipiente, este proceso tuvo una duración de 4 a 5 semanas, hasta que el compost quedo listo; después recogieron los resultados, analizaron y propusieron mejoras al proceso , por ultimo esta actividad fue propuesta como una estrategia didáctica para la enseñanza en la escuela.

Por otro lado en el Colegio Nazaret, durante los años 2007-2008, los estudiantes elaboraron compost con el material orgánico proveniente de sus hogares, esto se llevó a cabo en 3 etapas, al igual que en la Escuela de Educación, primero trataron teóricamente, todo lo relacionado con el suelo, disposición de la materia orgánica, el proceso de compostaje; para luego empezar la practica con las mismas características del ejemplo anterior, pero usando los residuos orgánicos domiciliarios, cuando obtuvieron el compost, hicieron análisis de resultados y se miró su respectiva relación con la responsabilidad medioambiental.

Otra experiencia relevante es la de la Universidad Autónoma de Yucatán, en México, Sauri<sup>13</sup>, señala la experiencia con el manejo de los residuos orgánicos, específicamente con el manejo de los vegetales cítricos, allí se aplicaron dos métodos diferentes, el manual (volteo) y el material o pasivo tubería en donde suministraron aire por medio de tubería de PVC previamente perforada. El material tratado fue obtenido de la Central de Abastos de Oxkutzcab y de la Procesadora de Cítricos “Lol-Páaka” de Akil, Yucatán. El tiempo de estabilización de los residuos fue de 35-53 días, de acuerdo a los dos métodos usados, se instaló un sistema pasivo de 3”, 3 tubos de 1.20 m de longitud y 2 de 0.8 m; para el sistema manual, se realizaron volteos, lo cual implicó más tiempo para lograr la estabilidad del proceso. Por esto concluyeron que es más rápido el sistema de aireación por tubos.

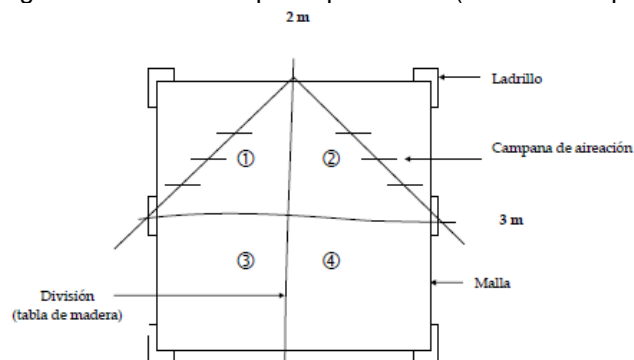
---

<sup>13</sup> SAURI, María., NÁJERA, Hugo., RAMIREZ, José., MEJÍA, Gaspar. Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. En Ingeniería., Vol. 6-1. 2002. P. 13-20

También se puede distinguir el trabajo en la Corporación Universitaria Lasallista en Antioquia Colombia, Quintana<sup>14</sup>, evaluó el programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos, en donde el compostaje se tomó como un factor determinante en este proceso. En el 2001, implementaron el programa, valorando los residuos internos producidos en la Universidad, como: pastos y residuos de jardinería. Para el año 2003, lograron producir 19.000 kilos de compost, que usaron en su mayoría en los jardines internos de la Universidad, además de repartir en presentaciones del Programa de Manejo de Residuos Sólidos en eventos académicos.

Igualmente está el caso Colegio Nuevo Cambridge de Floridablanca en Santander, este proyecto se llevó a cabo según Pimienta<sup>15</sup> en tres etapas. Primero la ubicación, diseño y montaje de la compostera; luego la producción y utilización del abono orgánico y por último la multiplicación de la propuesta. En la etapa concerniente al montaje, construyeron una pila tipo pórtico (conformado por columnas) para evitar el volteo (ver figura 1), con acceso al aire, que además fue cubierta con plástico para evitar la lluvia.

Figura 1. Pila de Compost tipo Pórtico (conformada por columnas)



Fuente: Pimienta, Paola. 2004

<sup>14</sup> QUINTANA, Olivia., PUERTA, Silvia. Impacto del Manejo de los Residuos Sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia, Colombia. En Revista Lasallista de Investigación Vol. 1 No 1. 2002. p. 15-21

<sup>15</sup> PIMIENTA, Paola. Formación de una Cultura Ecológica en la Escuela: Transformación de Residuos Sólidos Orgánicos en Abonos de Buena Calidad, Como una Alternativa Para Disminuir el Impacto Ambiental Generado Por Estos Residuos. Bucaramanga, 2004, 59 p. Monografía para optar el título de Especialista en Química Ambiental. Universidad Industrial de Bucaramanga.



Según la figura 1 en la pila se muestran cuatro secciones 1, 2, 3 y 4, las partes 1 y 2 corresponden a la parte superior de la misma las cuales tienen mayor entrada de aire por su ubicación, la sección 3 y 4 son de la parte inferior de la pila, aquí podría disminuir la entrada de aire debido a que es una zona menos expuesta, pero gracias a la tabla de madera que se muestra en la figura 1 que divide la pila verticalmente se garantiza mayor entrada de aire en cada sección evitando la disminución en la zona 3 y 4, debido a que la barrera de madera está reduciendo el ancho de la pila a la mitad por lo tanto es menor la distancia que el aire debe recorrer. Asimismo la figura 1 muestra que las pilas fueron cercadas por malla de una altura de 3 m y 2 m de ancho.

Se usaron residuos de alimentos procedentes de los sobrantes del menú, no se usó trituración debido a la homogeneidad del material. La biodegradación del material culminó a los 60 días, evaluaron la humedad cada 3 días, al igual que el pH y la temperatura. Al final se realizó un análisis de laboratorio con el fin de determinar los principales parámetros químicos (%N, P, K y C) del producto obtenido.

#### 4.2.2 ANTECEDENTES DEL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA UNIVERSIDAD LIBRE

En la Universidad Libre, se generan diferentes tipos de residuos que dentro del marco de Gestión Ambiental, son tratados a partir de diferentes alternativas. Una clasificación se puede ver en la figura 2, de allí se identifican claramente los Residuos Orgánicos, clasificados únicamente en restos de podas y jardines, debido a que los residuos contenidos en las canecas verdes en los diferentes puntos ecológicos se encuentran mezclados, al no haber una correcta separación de los mismos, por este motivo estos residuos no tienen ningún tratamiento al interior de la Universidad en la actualidad, únicamente son dispuestos en el centro de acopio, para posteriormente ser recolectados por la prestadora del servicio de aseo y llevados finalmente al relleno sanitario.

En cuanto a las cantidades se pueden apreciar en la Figura 3 y en la Tabla 1, de ahí se puede ver que después del plástico son los residuos más generados al interior de la institución. Por esto y de acuerdo a los requisitos del Sistema de Gestión Ambiental Académico, se han propuesto opciones para el tratamiento de dichos residuos, por lo cual se ha venido trabajando un sistema de compostaje aerobio. Hasta el momento el producto obtenido se ha usado en los jardines internos del Campus, pero no se ha realizado ningún tipo de seguimiento y control del proceso.

Figura 2. Residuos Generados en la Universidad Libre



Fuente: Maria T. Holguin. 2010 Tomado de UNIVERSIDAD LIBRE, 2010.

Sin embargo ya se había estudiado la posibilidad de evaluar la potencialidad de aprovechamiento de los mismos, según un estudio elaborado por Agudelo<sup>16</sup>, el cual nos indica la factibilidad de proyecto, teniendo en cuenta la extensión de las zonas verdes, la periodicidad de corte del pasto (cada 45 días), el volumen total de materia orgánica generado en el campus, además de lograr el aprovechamiento de los residuos como abono y minimizar la tarifa de disposición final de residuos que la universidad debe pagar periódicamente.

<sup>16</sup> AGUDELO, Nikolay. MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE CAFETERÍAS Y PODA DE CÉSPEDES. 2011. Bogotá. p. 9.

Figura 3. Composición de los residuos en la Universidad Libre Sede Bosque.



Fuente: Grupo PRIES Unilibre, 2010. Tomado de UNIVERSIDAD LIBRE, 2010.

Tabla 1. Tipo de residuos generados en la Universidad Libre

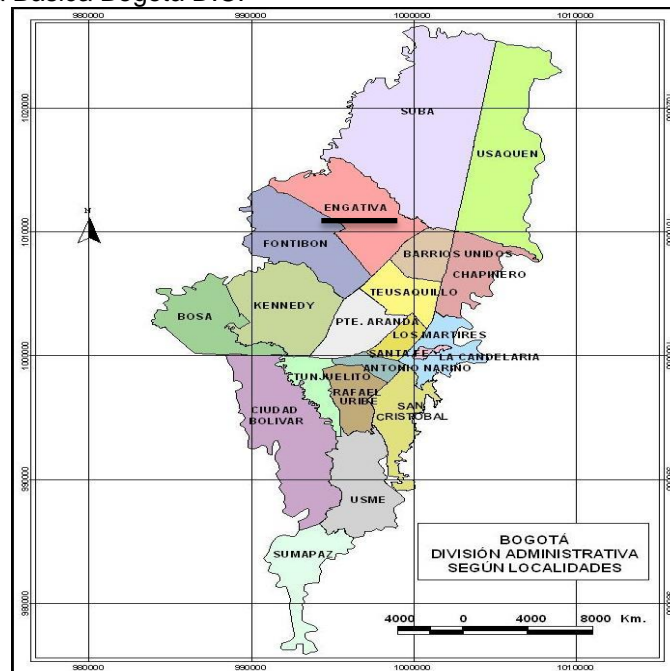
TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS (MACROAPROXIMACIÓN)	PORCENTAJE	kg/Día
PAPEL	10,52	72,64
CARTÓN	4,26	29,44
VIDRIO	11,11	76,73
PLÁSTICO	27,69	191,22
METALES	0,69	4,74
EMPAQUES COMPUESTOS	2,99	20,66
OTROS MATERIALES POTENCIALMENTE RECICLABLES	1,06	7,31
RESIDUOS ORGÁNICOS	21,27	146,89
OTROS RECHAZO	20,40	140,87
TOTAL	100,00	690,50

Fuente: UNIVERSIDAD LIBRE, 2010.

### 4.3 LOCALIZACIÓN

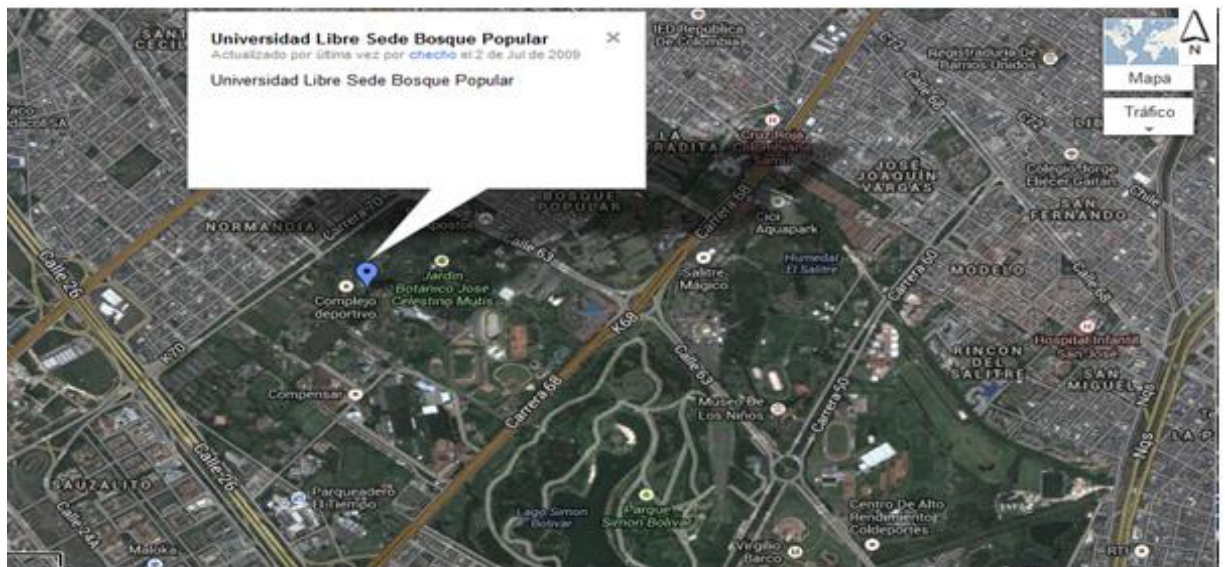
La Universidad Libre Sede Bosque Popular se encuentra ubicada en la localidad de Engativá, colinda al norte el Jardín Botánico José Celestino Mutis, al sur con el Colegio Militar Simón Bolívar, al oriente con el Club Compensar, al occidente con la Avenida Rojas. (Ver figura 4, 5, 6 y 7).

Figura 4. Cartografía Básica Bogotá D.C.



Fuente: Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH).

Figura 5. Localización Universidad Libre Sede Bosque Popular, Bogotá Colombia.



Fuente: Google Maps, 2013.



Figura 6. Localización Universidad libre, Sede Bosque Popular, Bogotá Colombia.



Fuente: Google Earth, 2013.

Figura 7. Localización Planta Piloto de Compostaje en el Campus Universitario, Bogotá Colombia.



Fuente: Google Earth, 2013.

## 4.4 MARCO TEORICO

### 4.4.1 LOS RESIDUOS ORGÁNICOS COMO POTENCIAL PARA EL COMPOSTAJE

Los residuos orgánicos son sin duda uno de los mayores focos de contaminación, según Abad & Puchades<sup>17</sup>, éstos generan graves impactos sobre el medio ambiente, contribuyen a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, el aire y el suelo. Por ello hoy en día se distinguen diferentes métodos para el tratamiento de dichos residuos, entre los cuales se destaca el compostaje.

Haciendo énfasis en el aprovechamiento de estos residuos, distinguen tres sectores de generación de residuos orgánicos.

- Sector primario: residuos agrícolas, ganaderos y forestales
- Sector secundario: residuos industriales (agroalimentarios, textiles, etc.)
- Sector terciario: residuos urbanos (Biosólidos = lodos de depuración, etc.)

También es necesario distinguir entre los residuos que se pueden emplear para el compostaje. De acuerdo a las diferentes labores. Según Röben<sup>18</sup>, se pueden compostar, cáscaras de verduras, granos, legumbres y fruta, cáscaras de huevos, nueces, desechos de té o café, papel de servicio usado (papel de baño, papel de cocina), cabello cortado, plumas, desechos de jardín o huerto, desechos de plantas decorativas (con o sin tierra), flores decorativas, desechos sólidos de la cocina (pan podrido, cáscaras de queso etc.), desechos de madera sin laqueado o pintura, astillas, acepilladura, viruta, paja usada de animales domésticos.

---

<sup>17</sup> ABAD, M. y PUCHADES, R. (coord.). 2002. Compostaje de residuos orgánicos generados en la hoya de buñol (Valencia) con fines hortícola. Ed. Asociación para la Promoción Socioeconómica Interior Hoya de Buñol, Valencia.

<sup>18</sup> RÖBEN, Evan. 2002. Manual de Compostaje Para Municipios. Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador. 68 p.

Para el caso del presente proyecto, se dará relevancia a los residuos de jardín y poda así como los cunchos de café o café húmedo provenientes de las cafeterías de cada bloque, ya que estos son los que se producen en mayor cantidad al interior de la Universidad Libre, Sede Bosque Popular. Según DAMA<sup>19</sup>, en la actualidad estos residuos han tomado un valor importante debido a que tienen notorias oportunidades para ser reciclados, mediante la obtención de Compost tipo mulch, el cual se obtiene cubriendo el área a tratar con una capa de materia orgánica en contorno con las plantas (más económico que el compost, su uso contribuye a la revegetalización).

#### 4.4.2 COMPOSTAJE COMO PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

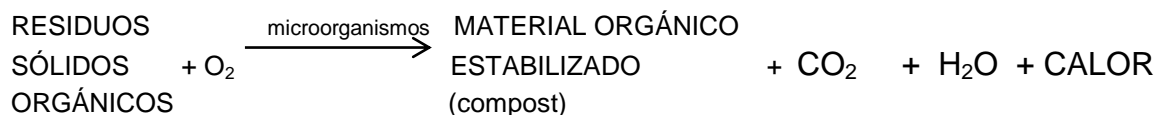
Se presentan diferentes acepciones de lo que es el compostaje, aquí se aceptara la definición según Bharadwaj<sup>20</sup> la cual nos dice que es un proceso en el que se involucra la transformación de los residuos orgánicos de origen vegetal y animal en abono. Es en gran parte un proceso microbiológico basado en las actividades de varias Bacterias y Hongos. Conforme con lo dicho por Abbasi & Ramasamy<sup>21</sup>, el producto principal está caracterizado por su contenido rico en humus y nutrientes vegetales, en cuanto a los subproductos, tenemos el dióxido de carbono, agua y calor. La siguiente reacción química muestra la información descrita anteriormente.

---

<sup>19</sup> Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, DAMA. EL Manejo Ambiental de Residuos. Una Estrategia Competitiva. Santafé de Bogotá, Colombia. 173 p.

<sup>20</sup> Bharadwaj, K.K.R.. Improvements in microbial compost technology: A special reference to microbiology of composting. Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

<sup>21</sup> Abbasi, S.A., Ramasamy, E.V., Gajalakshmi, S., Khan, F.I., and Abbasi, N. 2000. A waste management project involving engineers and scientists of a university, a voluntary (non-governmental) organization, and lay people—A case study, Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400



El producto obtenido, tiene características importantes, como dice Röben<sup>22</sup> el resultado es conocido como humus o abono, el cuál puede ser usado para la horticultura, agricultura, silvicultura, el mejoramiento del suelo o la arquitectura del paisaje. Además con su producción se puede reducir la cantidad de residuos dispuestos en rellenos o botaderos en un 50 %. Aunque el porcentaje puede variar según la composición de los residuos.

#### 4.4.2.1 TIPOS DE COMPOST

Puede ser clasificado de acuerdo al origen de la materia orgánica, Hernández<sup>23</sup> nos muestra en clasificación de estos en:

*Compost de Maleza*, en este tipo de compost se emplea vegetación de sotobosque, arbustos, etc., el producto elaborado se usa para cubrir las superficies de los suelos este se conoce como tipo mulch. Por otro lado está el compost de *Maleza y Broza*, similar al anterior, en el que se añade maleza además de restos de vegetación o vegetación muerta (broza). Asimismo Ochoa<sup>24</sup> sostiene que este material no es demasiado rico en nutrientes, sin embargo tiene una gran utilidad como substratos de cultivos por su capacidad de retención de agua como cubierta para frenar la erosión.

<sup>22</sup> RÖBEN, Evan. 2002. Manual de Compostaje Para Municipios. Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador. 68 p.

<sup>23</sup> HERNANDEZ, Alma. Elaboración de Composta Como Fuente de Fertilización Orgánica en el Cultivo de Jitomate (*Lycopersicon esculentum*) en la Localidad de Matachilillo, Jaltocán, Hidalgo. JALTOCÁN, HIDALGO, 2011, 42p. Trabajo de investigación (Técnico Superior Universitario en Agrobiotecnología). Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.

<sup>24</sup> OCHOA, Isabel. Curso de Compostaje en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).



También está el compost de *Material Vegetal con Estiércol*, producido al tratar generalmente restos de vegetales, malezas y estiércol. Al usar este abono es necesario dejarlo inicialmente en contacto con el suelo por varios días. Una de las especies que mejora éste abono es la corteza de pino, le suministra nutrientes como el fósforo y el potasio, logrando disminuir la humedad y aumentar la relación C/N.

Además se encuentra el compost tipo *Quick-Return*, que está compuesto en general por una mezcla de residuos vegetales, rocas en polvo, paja y tierra. Por ultimo tenemos el compost *Activado con Levadura de Cerveza*, en el que también se usan residuos vegetales, se les agrega levadura fresca de cerveza y azúcar.

#### 4.4.3 FASES DEL COMPOSTAJE

Jaramillo<sup>25</sup>, enuncia cuatro fases que se muestran en la Figura 8, estas se evidencian durante el proceso del compostaje:

##### 4.4.3.1 Mesófila.

Está caracterizada por la presencia de Bacterias y Hongos, las primeras inician el proceso, consumen los carbohidratos más fácilmente degradables, debido a la actividad metabólica de los microorganismos se logra el aumento en la temperatura hasta más o menos 40 grados Celsius; en esta fase disminuye el pH hasta alcanzar valores ácidos, debido a esto se logra la proliferación de hongos los cuales permanecen en dicha fase por ser resistentes a estos cambios de pH.

---

<sup>25</sup> JARAMILLO, Marisol. Primer simposio sobre biofábricas: Biología y aplicaciones de la célula cultivada, Citado por JARAMILLO, Gladys., Zapata, Liliana. Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Antioquia, 2008, 116 p. Monografía para optar el título de Especialistas en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Posgrados de Ambiental.

#### 4.4.3.2 Termófila

En ésta fase la temperatura aumenta considerablemente hasta niveles entre 40 – 60 grados Celsius, aquí desaparecen los organismos presentes en la fase mesófila e inician la degradación los organismos termófilos. La temperatura debe alcanzar y mantenerse a más de 40 grados Celsius, alrededor de los seis primeros días del proceso, con el fin de suprimir patógenos. Igualmente se presenta la degradación de ceras, proteínas y hemicelulosas, además del desarrollo de numerosas *Bacterias* formadoras de esporas y actinomicetos.

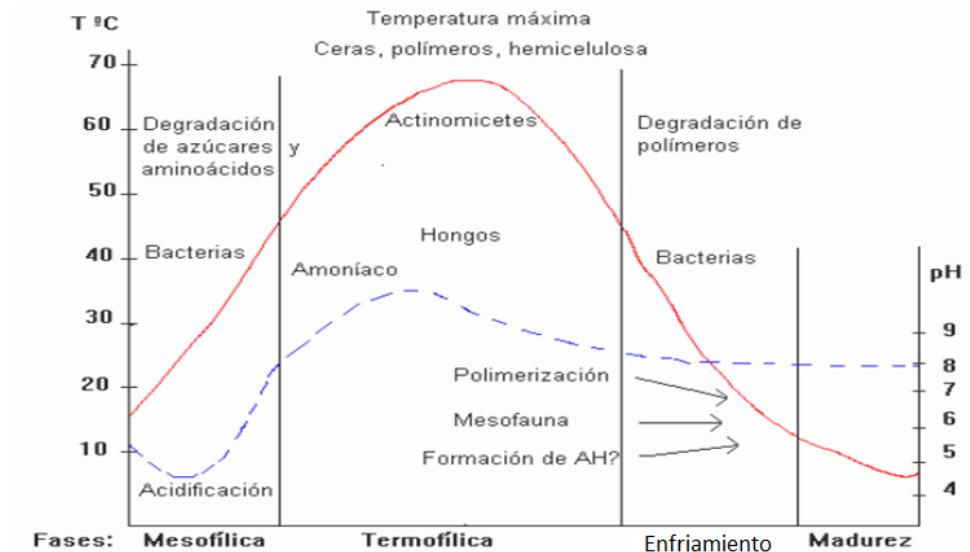
#### 4.4.3.3 Enfriamiento

Se presenta una disminución de la temperatura, desde la más alta alcanzada en el proceso hasta la ambiente, asimismo se va logra la disminución progresiva del material fácilmente degradable, sucede la desaparición de los hongos termófilos, lo que logran sobrevivir en las zonas menos calientes del proceso realizan la degradación de la celulosa, por su parte el proceso continúa gracias a los organismos esporulados y actinomicetos.

#### 4.4.3.4 Maduración

En esta fase producto permanece alrededor de 20 días, se puede considerar como complemento final de las otras fases que se presentan a lo largo del proceso de fermentación, con una notoria disminución de la actividad metabólica.

Figura 8. Fases del proceso de compostaje



Fuente: Varela, Santiago., Basil, Gustavo. 2011

La línea roja corresponde a la temperatura, mientras la azul es del pH.

#### 4.4.4 FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

##### 4.4.4.1. FACTORES ABIÓTICOS

Dentro de este grupo se encuentra: *La Naturaleza del Sustrato*, que de acuerdo con S. Gajalakshmi & Abbasi<sup>26</sup>, este factor corresponde al más básico para controlar cualquier proceso de compostaje, a medida que el sustrato se convierte en la única fuente de alimento para los microorganismos. Además si el tipo de residuos orgánicos es susceptible a las actividades enzimáticas de los microorganismos se puede convertir en abono compuesto, si se cuenta con las condiciones apropiadas para la biodegradación.

<sup>26</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

Este factor es decisivo para la producción del compost, como dice Varela & Basil<sup>27</sup>, es necesario que exista una relación equilibrada entre ambos. Una *Relación C:N* de 25-35 es la adecuada, igualmente la relación varía en función de las materias primas usadas en el compost. Si el factor C/N es muy elevado, disminuye la actividad biológica, pero si es muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Por ello es primordial realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C:N para obtener un compost equilibrado.

Asimismo S. Gajalakshi & Abbasi<sup>28</sup>, expresan que el Carbono sirve principalmente para proporcionar energía a los microorganismos, mientras el nitrógeno es fundamental para el crecimiento de la población microbiana, ya que es un componente de las proteínas que constituye más del 50% de la masa seca de células bacterianas.

La *Humedad*, también es un factor determinante, debido a que varía a lo largo del proceso, en la fase inicial se puede aceptar según Bertoldi<sup>29</sup>, los niveles óptimos se encuentran entre 60 y 70 %, para etapas posteriores el contenido de humedad ideal puede ser 50 a 60%. Si el contenido de humedad aumenta, Varela & Basil<sup>30</sup> señalan, que el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica y si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. Las materias primas son determinantes para el contenido de humedad. Por otro parte, está el *pH*, este factor influye en el proceso de compostaje debido a su acción

---

<sup>27</sup> VARELA, Santiago., BASIL, Gustavo. Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales. En: Varela, S. A. y Aparicio, A. (eds.). Vol. 4. (Marzo de 2011). 11 p.

<sup>28</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Op. cit., p. 24.

<sup>29</sup> Bertoldi. Temperature, pathogen control and product quality. Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En: Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

<sup>30</sup> VARELA, Santiago., BASIL, Gustavo. Op. cit., p. 5.

sobre los microorganismos. Varela & Basil<sup>31</sup>, aseveran que el rango de valores de pH adecuados para el desarrollo bacteriano es 6.0-7.5, mientras que los hongos prefiere un ambiente en el intervalo de pH 5,5 a 8,0.

Asimismo Hellmann<sup>32</sup>, afirma que si el pH aumenta a valores superiores de 7,5 unidades el medio pasaría a ser alcalino lo cual produciría que el exceso de nitrógeno se lixiviara en forma de amoníaco, al pasar la etapa mesofílica el pH debe aumentar y se mantiene casi sin cambiar durante todo el proceso.

Igualmente es importante resaltar la importancia del *Oxígeno*, Varela & Basil<sup>33</sup>, manifiestan la importancia que tiene la presencia de oxígeno durante el proceso, debido a que el compostaje es una proceso de biodegradación aerobio, además hay que tener en cuenta que la concentración de este dependerá de factores como el tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la aireación. En relación a esto último, Gajalakshi & Abbasi<sup>34</sup> sostienen que la aireación provee el oxígeno necesario, ya que un valor bajo puede dar lugar al crecimiento de microorganismos anaerobios, lo cual generara compuestos con malos olores.

Otro determinante es la *Temperatura*, este factor oscila en rangos más amplios o cortos según diversos autores, Varela & Basil<sup>35</sup> consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas. Con temperaturas demasiado elevadas, muchos microorganismos pueden morir. Al alcanzar temperaturas superiores, Jaramillo &

---

<sup>31</sup> VARELA, Santiago., BASIL, Gustavo. Ibid., p. 5.

<sup>32</sup> HELLMANN, B., ZELLES, L., Palojarvi, A., and Bai, Q. Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting, Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

<sup>33</sup> VARELA, Santiago., BASIL, Gustavo. Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales. En: Varela, S. A. y Aparicio, A. (eds.). Vol, 4. (Marzo de 2011). 11 p.

<sup>34</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

<sup>35</sup> VARELA, Santiago., BASIL, Gustavo. Op. cit., p. 5.

Zapata<sup>36</sup> afirman que hacia los 70 °C grados Celsius se suspende la actividad microbiana por ello es necesario airear el compost logrando la disminución de la temperatura evitando así la muerte de los microorganismos.

Por ultimo tenemos la *Aireación*, Gajalakshmi & Abbasi<sup>37</sup> manifiestan que la aireación se puede producir de forma natural mediante difusión del aire ambiente, pero ocurre de manera lenta, ocasionando que el tiempo de compostaje sea muy largo (un año o menos). Por lo que se aconseja suministrar aire a través de tubos o bombas para acelerar el proceso.

Hellman afirma que "por medio de la aireación natural, no hay difusión de aire caliente hacia arriba desde la superficie, por lo que la ruta de acceso de aire ambiente que entra por los lados de la pila de compostaje, sale a través de la superficie como resultado de las elevadas temperaturas internas y se conoce como un efecto chimenea"<sup>38</sup>. Algunos caso no es posible suministrar aire, por lo que Röben<sup>39</sup> señala que en plantas donde no hay aireación artificial, recomienda no formar pilas más altas de 1.5 m, con un corte de triángulo simétrico, así se evita que ocurran condiciones anaeróbicas.

A continuación se muestra la tabla 2 que contiene algunos de los factores anteriormente mencionados.

---

<sup>36</sup> JARAMILLO, Gladys., Zapata, Liliana. Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia. Antioquia, 2008, 116 p. Monografía para optar el título de Especialistas en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad De Ingeniería. Posgrados De Ambiental.

<sup>37</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Op. cit., p.41

<sup>38</sup> Hellmann, B., Zelles, L., Palojarvi, A., and Bai, Q. Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting, Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

<sup>39</sup> RÖBEN, Evan. 2002. Manual de Compostaje Para Municipios. Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador. 68 p

Tabla 2. Condiciones ideales para el compostaje.

CONDICIÓN	RANGO ACEPTABLE	CONDICIÓN ÓPTIMA
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 % – 65 %	50% - 60%
Oxígeno	+5%	Aproximadamente 8%
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura (°C)	55 °C - 75°C	65 °C - 70°C
Tamaño de partícula	0,5 – 1,0	Variable

Fuente: RYNK, R. On. 2008.

#### 4.4.4.2. FACTORES BIÓTICOS

El proceso en general implica la presencia una gran variedad de microorganismos, la composición y la magnitud son características importantes del proceso de compostaje. Golueke, declara que “los microorganismos descomponen la materia orgánica, y transforman el componente de nitrógeno a través de la oxidación, nitrificación y desnitrificación”<sup>40</sup>. A continuación se presentan algunas de las principales características de: las bacterias, fungí y los actinomicetos.

En primer lugar las *Bacterias*, según Strom<sup>41</sup> son los organismos que tienen mayor predominancia durante la fase termófila del proceso de compostaje, aun no se ha aclarado totalmente el porqué de esto, pero se le atribuye a posibles interacciones entre las variables abióticas como lo son la temperatura, pH, contenido de humedad, concentración de oxígeno, entre otras. Entre las *Bacterias* que se producen comúnmente en descomposición aerobia se encuentran especies de *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, y *Azomonas*. Entre las *Bacillus*, se identifican las, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, y *B. circulans*. Alcanzando hasta el 87% de las colonias que fueron seleccionadas al azar durante la fase termofílica del compostaje.

<sup>40</sup> GOLUEKE, C.G. Bacteriology of composting Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

<sup>41</sup> STROM, P.F. 1985b. Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting. Applied Environmental Microbiology, 50, 907–913.

Igualmente están los *Hongos*, Bertoldi; Golueke; Tiquia, hablan sobre la función de estos, “ellos surgen cuando las sustancias simples degradables como el azúcar, almidón y proteína son usados por las Bacterias y además predomina la celulosa y lignina. En cuanto a su continuidad, estos permanecen a temperaturas moderadas. Las especies más observadas en el proceso de compostaje son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, y *Cladosporium*. Algunas de las especies de *Paecilomyces* y *Sporotrichum* también han sido nombrados como degradadores eficientes de los residuos lignocelulósicos”<sup>42</sup>.

Por último los actinomicetos, se asemejan al comportamiento de los hongos, debido a que según Bertoldi “usan la materia orgánica compleja, son las formas más altas de bacterias, que forman filamentos multicelulares. Se observan en las últimas etapas del compostaje, aparecen durante la fase termofílica, así como la fase de enfriamiento y maduración de compostaje. Los más frecuentes son *Micromonospora*, *Streptomyces*, *Nocardia* y *Thermoactinomyces*”<sup>43</sup>. “Los géneros de los actinomicetos termófilos aislados de abono incluyen *Nocardia*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces* y *Micromonospora*”<sup>44</sup>.

#### 4.4.5 TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE

Dentro de la literatura se pueden encontrar variedad de tecnologías y clasificaciones. En el presente trabajo se adoptara la clasificación propuesta por Gajalakshmi & Abbasi<sup>45</sup>, los cuales indican que podemos distinguir entre los sistemas total o parcialmente abiertos al aire y los sistemas cerrados o en reactor.

---

<sup>42</sup> BERTOLDI et al; GOLUEKE; Tiquia et al Citado por S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

<sup>43</sup> BERTOLDI et al; GOLUEKE; Tiquia. Ibid., p 47.

<sup>44</sup> STROM, P.F. 1985b. Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting. Applied Environmental Microbiology, 50, 907–913.

<sup>45</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400.



En la primera categoría tenemos al compostaje en hileras, en pila estática y sistemas domésticos usados en la actualidad. Mientras en la segunda, tenemos los sistemas en túnel o en reactor.

Por otro lado Jaramillo y Zapata<sup>46</sup> mencionan otro tipo de clasificación en base a la aireación, diferenciando entre sistemas agitados y estáticos. Entre las cuales se distinguen los mismos sistemas pero se refieren a ellos con distintos términos.

Aclarando esto, se empezara con el método de agitado, aquí, el material a compostar es movido periódicamente, para suministrarle oxígeno, además de controlar la temperatura se logra la homogeneidad del producto, como ejemplo reconocemos el sistema en reactor; mientras que en el método estático, el material se mantendrá inmóvil y a través del él, se inyectara el aire, en este tenemos el sistema con pila estática aireada. A continuación se enunciaran las principales características de cada uno de los sistemas anteriormente nombrados.

#### 4.4.5.1 COMPOSTAJE EN HILERAS

Para este sistema Jaramillo y Zapata<sup>47</sup> señalan que antes de formar las hileras del sistema, es necesario realizar un proceso de trituración y tamizaje del material orgánico hasta obtener un tamaño de partícula aproximadamente de 2,5 a 7,5 cm y alcanzar un contenido de humedad entre 50 a 60%, después de esto, se procede a formar las hileras. Para la estructura de las hileras es fundamental contar con equipos que permitan hacer el volteo de los residuos fermentados. Generalmente los sistemas rápidos de compostaje emplea 2 a 2,30 m de altura y 4.5 a 5 m de ancho por cada hilera, el material es volteado hasta dos veces por semana y es necesario mantener una temperatura alrededor de 55 grados centígrados; ya para obtener la descomposición total se tomara un tiempo de entre tres o cuatro semanas, pero luego se debe dejar el compost para curarse

---

<sup>46</sup> JARAMILLO, Gladys., Zapata Liliana. Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Antioquia, 2008, 116 p. Monografía para optar el título de Especialistas en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad De Ingeniería. Posgrados De Ambiental.

<sup>47</sup> JARAMILLO, Gladys., Zapata Liliana. Ibid., p. 38.

otro periodo similar al anterior sin llevar a cabo ningún volteo. Asimismo un factor fundamental para el proceso es la porosidad de la hilera.

Gajalakshmi & Abbasi<sup>48</sup> enuncian que como las hileras se airean principalmente por movimientos de aire ya sean natural o pasivo, provocados por convección y difusión gaseosa, la tasa de intercambio de aire depende de la porosidad de la hilera. De acuerdo con esto el tamaño puede determinarse por su porosidad. Así si es demasiado grande, se pueden establecer zonas anaerobias dentro del centro de la hilera, lo cual impedirá el proceso de compostaje. Igualmente si son demasiado pequeñas, se perderá calor rápidamente, lo que impedirá llegar a la temperatura óptima en la que desaparecen los patógenos y las semillas de malezas.

#### 4.4.5.2 COMPOSTAJE EN PILA ESTÁTICA

Entre el que se distinguen dos tipos, Pila Estática Aireada y Pila Estática y Sistemas Contenidos de Pilas. Para el primero, Jaramillo y Zapata<sup>49</sup>, dan una descripción sobre cómo es la estructura de una pila estática aireada, esta consiste en una red de tuberías que se han perforado anteriormente permitiendo así la entrada del aire, sobre ellas se disponen los residuos y se deben formar pilas de aproximadamente 2 a 2,5 m de altura. Se aconseja colocar una capa de compost tamizado sobre la pila, para evitar la difusión de olores a causa de la descomposición.

El aire es suministrado mediante un inyector, esto nos ayuda para controlar tanto la temperatura como para llevar a cabo el proceso de conversión de la materia orgánica. Al igual que el compostaje en hileras, es necesario esperar alrededor de tres a cuatro semanas mientras se realiza la transformación y luego para el

---

<sup>48</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400.

<sup>49</sup> JARAMILLO, Gladys., Zapata Liliana. Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia. Antioquia, 2008, 116 p. Monografía para optar el título de Especialistas en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad De Ingeniería. Posgrados De Ambiental.

proceso de curado se esperan cuatro semanas más. Para mejorar la calidad del producto final, al final se realiza una trituration o tamizaje para obtener un producto más tratado.

Para el segundo, Pila Estática y Sistemas Contenidos de Pilas, Gajalakshmi & Abbasi<sup>50</sup> señalan que este sistema está compuesto por los residuos dispuestos en filas paralelas y como su nombre lo indica, las pilas son estáticas, esto hace que no estén dimensionadas para permitir el volteo por medio de maquinaria, por lo cual las filas son más altas y anchas. Algo que las caracteriza es su costo más económico con respecto a los equipos, mano de obra y gastos generales. Sin embargo, una desventaja radica en cuanto al uso del terreno, ya que la descomposición progresa a un ritmo más lento, causando que el material permanezca en el sitio durante un período más largo.

De acuerdo con Röben<sup>51</sup>, para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, se necesita una "masa crítica" mínima de 50 - 100 kg de basura biodegradable. Con esa masa, ya se puede prender y mantener durante un tiempo suficiente la reacción exotérmica del proceso aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la higienización del material. Esta "masa crítica mínima" es especialmente importante para el compostaje individual.

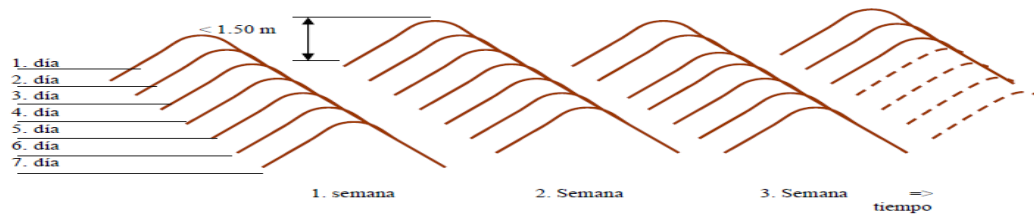
Si las pilas son más altas que 1.50 m, se impide la aireación natural y pueden ocurrir condiciones anaeróbicas (para sistemas de compostaje con aireación artificial, ese límite es de 2.50 - 3.00 m). El sistema se muestra en la figura 9.

---

<sup>50</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Op. cit., p.12.

<sup>51</sup> RÖBEN, Evan. 2002. Manual de Compostaje Para Municipios. Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador. 68 p.

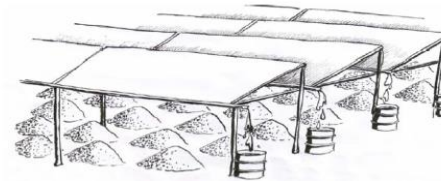
Figura 9. Compostaje en montones o pilas



Fuente: RÖBEN, Evan. 2002.

Asimismo Röben<sup>52</sup> habla sobre la aireación, sustentando su importancia, por lo cual es necesario voltear el material una vez por semana, se puede hacer manualmente con palas y es necesario remover el material de cobertura para la revuelta. Con respecto a la cubierta, el techo, no debe impedir el ingreso de viento. Se debe procurar tener una construcción ligera abierta a los cuatro lados. El techo puede ser de zinc o de materiales naturales de construcción (pasto, hojas de palma, helecho, fronda, bananero etc.). La figura 10 muestra un ejemplo de la cubierta.

Figura 10. Cubierta del área de compostaje



Fuente: Fuente: RÖBEN, Evan. 2002.

Con respecto al riego, Röben<sup>53</sup>, dice acerca del uso del agua lluvia, para lo cual se pueden poner ductos conduciéndola a recipientes con el fin de usarla posteriormente para el riego de las pilas. Como la biodegradación principal ocurre durante los primeros 3 meses del proceso. Es fundamental hacer la revuelta del material y controlar la humedad. Por lo que el compost debe ser humedecido

<sup>52</sup> RÖBEN, Evan. Ibid., p. 27.

<sup>53</sup> RÖBEN, Evan. Ibid., p. 28.

durante los primeros 3 meses. La duración total del proceso será de 6 meses. Después de este periodo, el compost será maduro y no contendrá ingredientes fitotóxicos, *Bacterias* patógenas y otros materiales nocivos. Si el compost es cosechado antes, no se puede garantizar que el producto esté completamente higienizado.

#### 4.4.5.3 SISTEMAS DOMÉSTICOS USADOS EN LA ACTUALIDAD

En los hogares se generan gran cantidad de residuos orgánicos, por lo que hoy en día se está optando por aplicar alternativas de tratamiento a estos residuos para evitar la disposición final de ellos. De ahí surgen los sistemas domésticos actuales, Gajalakshmi & Abbasi<sup>54</sup>, los reconocen como pequeñas unidades, este sistema de compostaje se realiza generalmente en recipientes de diferentes tamaños y materiales. El proceso ocurre por aireación natural, lo que genera que sea bastante lento.

Este método es simple y de "baja" tecnología se puede lograr mediante mecanismos ordinarios y comunes. Este proceso tiene el potencial de disminuir las enormes cantidades de residuos biodegradables que actualmente se desechan por los hogares. Se han hecho intentos por todas partes para hacer realidad este potencial de "compostaje doméstico", pero han tenido un éxito muy limitado hasta el momento.

#### 4.4.5.4 SISTEMAS EN TÚNEL O EN REACTOR

Aquí podemos distinguir tres clasificaciones, el primero es el *Sistema por Tambor Rotatorio*, con respecto a este, Gajalakshmi & Abbasi<sup>55</sup>, dicen que los residuos se disponen en un tambor que gira lentamente, mientras es alimentado, en un extremo con residuos orgánicos, agua, y, en algunas instalaciones, los lodos de

---

<sup>54</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400.

<sup>55</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Ibid., p.15

aguas residuales. La mezcla de los residuos se voltea durante su paso por la longitud del tambor, el material se descompone progresivamente y luego empieza a mezclarse con el oxígeno y el agua. El aumento de la granularidad produce mayor actividad biológica que conduce a un proceso de descomposición dentro del tambor. Al final los residuos se disponen en hileras hasta que el compostaje se completa.

Los *Compostadores de Túnel*, según Gajalakshmi & Abbasi<sup>56</sup> son sistemas que consisten en un tubo perforado encerrado en una carcasa sellada de bastante longitud. En este el aire es soplado a través de la bandeja transportadora, y es expulsado de la carcasa superior, tiene dos extremos, en uno extremo de la cinta transportadora los residuos son cargados mientras en la otra, el compost se descarga. Esta tecnología depende de la velocidad de transportación del suelo. Este proceso es totalmente continuo; los residuos son llevados a través de la máquina a una velocidad constante. El tercer tipo corresponde a los *Sistemas en Reactor*, que de acuerdo con Gajalakshmi & Abbasi<sup>57</sup>, estos sistemas tienen un diseño más detallado en cuanto a la ingeniería de los sistemas convencionales.

Por lo que el proceso tiene mayor eficiencia, se puede controlar más fácilmente y se puede optimizar considerablemente. Se han desarrollado diversos sistemas en cuanto a formas y tamaños como torres verticales, tanques horizontales rectangulares, tanques horizontal circular, y tanques circulares giratorios. En relación a la aireación, se realiza por aireación forzada y por dispositivos mecánicos de giro, todo a condiciones controladas. Este tipo de sistemas permiten compostar grandes masas de residuos en espacios mucho más cortos que con los métodos convencionales de compostaje. Sin embargo el uso de la maquinaria y los lugares de alimentación ocasionan que sean más costosos que los sistemas convencionales.

---

<sup>56</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Ibid., p.15

<sup>57</sup> S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Ibid., p.16

#### 4.4.6 VENTAJAS DEL USO DEL COMPOST

A continuación se clasificaron en ventajas nutritivas para las plantas y en ventajas para la conservación del suelo.

##### 4.4.6.1 VENTAJAS NUTRITIVAS PARA LAS PLANTAS

El compost funciona como un abono orgánico que mejora las propiedades del suelo y a su vez sirve para suministrarle elementos nutritivos a las plantas, como señala Pimienta<sup>58</sup>, es clave debido al suministro de fósforo, nitrógeno, potasio, magnesio y demás elementos presentes, por ejemplo el nitrógeno ayuda a aumentar el crecimiento, calidad de la planta, así como la asimilación de otros nutrientes; el fósforo, induce el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas, además de provocar el ágil progreso de las semillas; otro elemento importante es el potasio que ayuda a proporcionar resistencia a las plantas para resistir enfermedades. Algunas de las funciones se enuncian en la tabla 3.

Tabla 3. Función de los Macronutrientes

	<b>Función</b>	<b>Síntomas de deficiencia</b>	<b>Fuentes</b>
<b>N</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Crecimiento de hojas y tallos.</li><li>• Resistencia a plagas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hojas pálidas y amarillas.</li><li>• Caída de hojas.</li><li>• Crecimiento pobre.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compost</li><li>• Desechos animales.</li><li>• Abono verde.</li></ul>
<b>P</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maduración temprana de semillas y frutos.</li><li>• Formación de raíces y resistencia a sequías.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Poco crecimiento.</li><li>• Enfermedades.</li><li>• Formación pobre de brotes y flores.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gallinaza.</li><li>• Ceniza.</li><li>• Huesos de animales pequeños...</li></ul>
<b>K</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Raíces y tallos fuertes.</li><li>• Semillas y hojas gruesas.</li><li>• Ayuda a mover los nutrientes en la planta.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hojas arrugadas.</li><li>• Inesperada maduración.</li><li>• Crecimiento pobre.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ceniza.</li><li>• Compost.</li><li>• Hojas de banano.</li></ul>

Fuente: BRECHELT. Andrea. Manejo Ecológico del Suelo

<sup>58</sup> PIMIENTA, Paola. Formación de una Cultura Ecológica en la Escuela: Transformación de Residuos Sólidos Orgánicos en Abonos de Buena Calidad, Como una Alternativa Para Disminuir el Impacto Ambiental Generado Por Estos Residuos. Bucaramanga, 2004, 59 p. Monografía para optar el título de Especialista en Química Ambiental. Universidad Industrial de Bucaramanga.

#### 4.4.6.2 VENTAJAS EN CONSERVACIÓN DEL SUELO

Según estudios realizados, entre los cuales se resalta el aporte de Raviv<sup>59</sup>, el uso de algunos compost para apoyar el crecimiento y mejora de la agricultura ecológica ha sido bastante benéfico. Además de intervenir en el uso de fertilizantes, debido a que reduce el número de plagas, lo cual hace que sea un producto que favorece significativamente.

#### 4.5 MARCO CONCEPTUAL

La problemática de los residuos sólidos ha alcanzado una magnitud incommensurable, lo cual ha aumentado los niveles de *contaminación*, definida según el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>60</sup>, como la presencia de fenómenos físicos, de elementos, sustancias o combinación de ellas o sus productos que ocasionan efectos adversos al Medio Ambiente, a la vida, la salud y en general al bienestar de los seres humanos, los recursos naturales, que sean una molestia o atenúen la calidad del recurso aire, agua, suelo o del ambiente en general.

Sin duda uno de estos focos de contaminación son los *residuos sólidos* que como enuncia el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>61</sup>, es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que origina del consumo o uso de un bien en variedad de actividades como lo son, domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, que tiene valor económico o de disposición final. Estos se clasifican en aprovechables y no aprovechables, además de los provenientes del barrido de áreas públicas.

---

<sup>59</sup> RAVIV, M., Oka, Y., Katan, J., Hadar, Y., Yogev, A., Medina, S., Krasnovsky, A., and Ziadna, H. 2005. High-nitrogen compost as a medium for organic containergrown crops. *Bioresource Technology*, Vol., 96 (2005); p. 419–427.

<sup>60</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título F. Bogotá, 2000.

<sup>61</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO Resolución 1096 de 2000. Colombia. 2000.166 p.



Antes de enfatizar en esta subdivisión, es importante resaltar que los residuos pueden ser destinados al aprovechamiento o a disposición final, en primer lugar conforme a lo emitido por el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>62</sup>, el *aprovechamiento* (en sistemas de aseo) es un proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales o económicos.

En segundo lugar está la *disposición final de residuos*, que según el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>63</sup>, es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, para luego ser dispuestos en lugares especialmente diseñados para esto, evitando la contaminación y favoreciendo la transformación biológica de los materiales fermentables, con el fin de evitar daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente. Esta labor es llevada a cabo por las empresas prestadoras de servicios.

En general todo el conjunto de actividades que se realizan durante todo el ciclo de vida de los residuos, es definido por el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>64</sup> como *manejo*, que va desde la generación hasta la eliminación del residuo o desecho sólido. Comprende actividades de separación en la fuente, presentación, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y/o la eliminación de los residuos sólidos.

Dentro del marco de desarrollo de los residuos sólidos, se puede resaltar su Gestión integral, la cual está integrada por el conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más

---

<sup>62</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Ibíd., p.145.

<sup>63</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Ibíd., p.150

<sup>64</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Decreto 1713 de 2002. Colombia.2002. 69 p

adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final. Mediante la *recuperación*, se pueden seleccionar y retirar los residuos sólidos que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la fabricación de nuevos productos.

Una de las alternativas contempladas en el aprovechamiento es el *compostaje*, que según el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>65</sup>, en un proceso mediante el cual la materia orgánica contenida en la basuras se convierte a una forma más estable, reduciendo su volumen y creando un material apto para cultivos y recuperación de suelos, conocido como compost. Hoy en día se hace uso de los *microorganismos eficientes EM*, según Moya<sup>66</sup>, estos son una mezcla de cultivos benéficos (bacterias ácido lácticas, levaduras, actinomicetos y hongos de la fermentación), que pueden inocular el suelo y plantas, aumentando la diversidad microbiana del ambiente ejerciendo así, efectos positivos en los sistemas de producción. Las *bacterias*, son definidas según el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>67</sup>, como el grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Para realizarle seguimiento al proceso de compostaje es necesario tener en cuenta los *parámetros de control del proceso*, que conforme al Ministerio de

---

<sup>65</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título F. Bogotá, 2000.

<sup>66</sup> MOYA, Gustavo. Evaluación de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) y derivados de este, en el manejo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano bajo un sistema agroforestal. Costa Rica, Diciembre, 2001. Trabajo de Graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciatura Guácimo. Universidad Earth.

<sup>67</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Resolución 1096 de 2000. Colombia. 2000. 166 p.

Desarrollo Económico de Colombia<sup>68</sup>, son los criterios preestablecidos que se utilizan como base para compararlos con los obtenidos en un proceso, con el fin de controlar o medir la eficiencia del mismo, esto se hace mediante *monitoreo*, actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas en un sitio y periodo determinados, con el objeto de identificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública o para evaluar la efectividad de un sistema de control.

Algunos de los parámetros a contemplar son la *humedad*, comprendida como la relación existente entre el peso del agua y el peso de los sólidos en un suelo. Se expresa en porcentaje; la *aireación*, proceso en el que se produce un contacto con el aire con el objetivo de oxigenar; *agitación mecánica*, movimiento obtenido mediante dispositivos mecánicos (paletas, palas, etc.) para producir turbulencia; la *relación carbono-nitrógeno*, utilizado como control de calidad de los residuos sólidos, utilizando como base la materia orgánica; *ácido*, capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo, según la acidez de la sustancia se está en equilibrio químico con el ión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y con el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el grado de acidez se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de miligramos por litro (mg/l) como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), también mediante el *pH*, logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro ( $\text{OH}^-$ ); *alcalinidad*, capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

---

<sup>68</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título F. Bogotá, 2000.

Ya para el para acondicionamiento del sistema de compostaje, se lleva a cabo la *excavación*, entendida como el retiro permanente o temporal de una masa de material férreo con el objeto de instalar un ducto, construir una obra, modificar la topografía del terreno, explotar materiales, etc. Otro de los factores a tener en cuenta es el uso de tuberías y material sintético. Las *tuberías superficiales*, son aquellas en las cuales las tuberías se apoyan sobre suelos relativamente superficiales y en las que la parte superior del tubo se proyecta por encima de la superficie natural del terreno, y luego es cubierta por un talud de relleno.

En relación a la cobertura, se hace uso de la *geomembrana*, material sintético impermeable, que permite que no se infiltren los *lixiviados* provenientes de la descomposición de los residuos. Que conforme al Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia de Colombia<sup>69</sup>, es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

Todas estas medidas con el fin de evitar la presencia de *vectores*, que de acuerdo al Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>70</sup>, son organismos, generalmente insectos o roedores que transmiten enfermedades. Medio de transmisión de un patógeno de un organismo a otro.

#### 4.6 MARCO LEGAL

A continuación se presenta en orden cronológico la normatividad existente relacionada con la gestión integral de los residuos sólidos en Colombia, específicamente los acordes con la temática de desarrollo de este trabajo.

---

<sup>69</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Decreto 1713 de 2002. Colombia.2002. 69 p

<sup>70</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Op. cit., p.165.

En primer lugar es fundamental resaltar la *Constitución Política de Colombia de 1991*, expedida por la Asamblea Nacional Constituyente<sup>71</sup>, la cual contiene 49 artículos alusivos al medio ambiente, dentro de los cuáles vale la pena destacar el artículo 79, que enuncia el derecho de todas las personas residentes en el país de gozar de un ambiente sano. Así como el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente y de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.

Ya para enfatizar en las distintas normas que tienen relación con este proyecto, está la *Ley 23 del 19 de Diciembre de 1973*, expedida por el Congreso de la República<sup>72</sup>, en donde se conceden facultades extraordinarias al presidente de la república para expedir el código de recursos naturales y de protección del medio ambiente, para la prevención y control de la contaminación del medio ambiente, el objeto de la ley es prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, así como la búsqueda del mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables y la defensa de la salud y el bienestar de todos los habitantes del deterioro nacional. Esta norma imprime responsabilidades en cuanto a sanciones para quienes causen daños al medio ambiente.

Seguido de ésta, la Presidencia de la República<sup>73</sup>, emitió el *Decreto - Ley 2811 del 18 de Diciembre de 1974*, el cual dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente. En relación al manejo de los residuos sólidos se hace referencia en el Título III, en donde menciona que se deben utilizar los mejores métodos de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento y disposición final. Igualmente enuncia que se fomentará la investigación científica y técnica, para

---

<sup>71</sup> ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE. Constitución Política de Colombia. República de Colombia. 1991. 130 p.

<sup>72</sup> CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 23 de 1973. Colombia. 1973. 3 p.

<sup>73</sup> PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. DE COLOMBIA. Decreto - Ley 2811 de 1974. Colombia. 71 p.

desarrollar métodos más adecuados que reintegren al proceso natural los residuos líquidos, sólidos y gaseosos, perfeccionándolos y desarrollando otros nuevos para su tratamiento, recolección, depósito, y disposición final; prohibiendo las descargas no autorizadas de residuos sólidos que deterioren los suelos o, causen daño a los núcleos humanos.

Más adelante, el Congreso de la República<sup>74</sup> expide, el Código Sanitario Nacional y Protección del Medio Ambiente, *Ley 09 del 24 de Enero de 1979*: Por la cual se dictan Medidas Sanitarias y procedimientos que se deben adoptar para el control de los descargos de residuos. Específicamente en relación con ellos, se establecen los artículos del 22 al 35, en donde se contempla su adecuado manejo en zonas de almacenamiento apropiadas, para su posterior recolección, transporte y disposición final. Para así evitar la proliferación de insectos o roedores que pongan en peligro la salud de las personas.

Otra norma fundamental que marca la protección de los recursos naturales es la *Ley 99 del 22 de Diciembre de 1993*, del Congreso de la República<sup>75</sup>, en la que se crea el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Bajo esta ley, en el artículo 5, numeral 32, se establece como función del ministerio, promover la implantación de tecnologías sanas y buscar actividades de reciclaje y reutilización de residuos, así como también es obligación de los Municipios, de los Distritos y del Distrito Capital de Santafé de Bogotá, estipulado en el artículo 65, numeral 9. Igualmente en el artículo 31, numeral 12, se contempla control y seguimiento ambiental del suelo y los demás recursos renovables, lo que comprende el manejo de residuos sólidos.

En 1996, el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>76</sup>, expide *el Decreto 605 del 27 de marzo de 1996*, por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 en

---

<sup>74</sup> CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Código Sanitario y de Protección al Medio Ambiente. Ley 09 de 1979. Colombia. 1979. 89 p

<sup>75</sup> CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99 de 1993. Colombia. 1993. 59 p

<sup>76</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Decreto 605 de 1996. Colombia. 1996. 29 p

relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo. En el artículo 5, del capítulo II, habla sobre la responsabilidad que tiene la entidad prestadora del servicio de aseo, en cuanto al manejo que se le debe dar a los residuos sólidos, en la recolección, transporte y disposición final, con el fin de proteger el medio ambiente y la salud humana.

En relación con esta norma, el artículo 40 párrafo, especifica la recolección, transporte y disposición de los residuos de poda de árboles y desechos de jardines generados en áreas privadas, tratados como servicios especiales, dependiendo del volumen, peso o tamaño de los residuos.

Más adelante en el capítulo VII, se habla del aprovechamiento de los residuos sólidos, en el artículo 71, se establece la obligatoriedad de buscar proyectos de recuperación, así como la intervención de las entidades prestadoras del servicio en cuanto a la obligación de promover su desarrollo.

Esto sin duda aplica totalmente en el desarrollo de este trabajo, debido a que el compostaje es una alternativa para el tratamiento adecuado de este tipo de residuos.

Ya en el año 2000, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA<sup>77</sup>, emitió la Resolución 120 el 23 de febrero, derogada según la resolución 151 de 2001, en la primera se reglamenta la realización de aforos de residuos sólidos a los grandes productores, esto debido a que en la ley 142 de 1994, se establece que es el volumen de los residuos el elemento principal del precio cobrado al usuario. Con esto se logra una reducción en la tarifa de aseo al implementar medidas de aprovechamiento.

---

<sup>77</sup> COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Resolución CRA 120 de 2000. Colombia. 2000. 8 p.

El 17 de Noviembre, el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>78</sup>, expide *la Resolución 1096*, en la que se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS- que tiene por objeto el señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias. En su título F (Sistemas de Aseo Urbano), Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>79</sup>, presenta los diferentes procesos para lograr una buena gestión de los residuos sólidos en Colombia, específicamente en la sección cuatro (4), se habla de aprovechamiento de los residuos, se establecen algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta para realizar el aprovechamiento de manera óptima, un ejemplo de ello, son los parámetros máximos permisibles que debe tener el compost final, en relación a la cantidad de metales pesados, patógenos, entre otros.

Además de enunciar los estudios de factibilidad, que deben realizarse como lo son los económicos, con el fin de determinar la factibilidad de implantar un programa de aprovechamiento. En la sección cuatro punto tres (4.3), se habla acerca de los métodos de aprovechamiento dentro de los cuales está el compostaje.

El Congreso de la República<sup>80</sup> el 29 de Diciembre del 2000, reglamentó la *Ley 632*, mediante el cual se modifica parcialmente la ley 142 de 1994, en donde se establecen los subsidios y contribuciones para los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. Además de lo referente al artículo 146 de esta última ley, en el capítulo V, de la determinación del consumo facturable, en cuanto al servicio de aseo, se especifica que el precio que se exija al usuario dependerá no sólo de los factores de costos que contemplen las fórmulas tarifarias sino en todo caso de la

---

<sup>78</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Resolución 1096 de 2000. Colombia. 2000. 166 p.

<sup>79</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título F. Bogotá, 2000.

<sup>80</sup> CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 632 de 2000. Colombia. 2000. 27 p



frecuencia con la que se le preste el servicio y del volumen de residuos que se recojan. Esto nos muestra la importancia en cuanto a la disminución del volumen de residuos para asimismo cancelar la factura de aseo.

Más tarde en el 2001, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA<sup>81</sup>, expide la *Resolución CRA 151 el 23 de enero de 2001*, que deroga la 120 del 2000, por la que se aplican disposiciones a los diferentes servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Como en la sección 4.2.2 en donde se establecen los cálculos del costo para la recolección y transporte de residuos sólidos, ya para los aforos se especifica en la sección cuatro, lo cual permitirá calcular el costo a pagar de acuerdo a la cantidad de residuos dispuestos.

En el año 2002, el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia<sup>82</sup>, establece el *Decreto 1713*, el cual reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y modifica el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Además de ordenar la elaboración e iniciación del Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS.; en el artículo 9 se mencionan los aspectos a tener en cuenta en el plan, como lo es la identificación de alternativas de manejo, programas de aprovechamiento y tratamiento.

Igualmente cabe resaltar el artículo 12, parágrafo 3, el cual dice que la Comisión de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA, podrá determinar el otorgamiento de incentivos a los usuarios que ejecuten programas de aprovechamiento. En el capítulo VII, se habla del sistema de aprovechamiento de residuos sólidos, específicamente el artículo 70 manifiesta como una de las formas de aprovechamiento la reutilización, el reciclaje, el compostaje, la lombricultura, la

---

<sup>81</sup> COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Resolución CRA 151 de 2001. Colombia. 2001. 181p.

<sup>82</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Decreto 1713 de 2002. Colombia. 2002. 69 p.

generación de biogás y la recuperación de energía, éste fragmento sustenta la realización de este trabajo; en cuanto a las características de los residuos a compostar el artículo 72, dice que los residuos sólidos no deben estar contaminados con residuos peligrosos, como: metales pesados, ni bifenilos policlorados.

Otro factor a tener en cuenta es la localización, para esto se necesita verificar los usos del suelo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial, POT, en este caso de Bogotá. Para la comercialización del compost, el artículo 78, da los requisitos previos para ésta, por lo cual es necesario cumplir con los requerimientos de calidad exigidos por las autoridades agrícolas y de salud.

Luego en *el Decreto 1505 de junio 6 de 2003*, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia<sup>83</sup> modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en cuanto a los planes de gestión integral de residuos sólidos y otras disposiciones. Para este trabajo es importante la modificación del artículo 1, en donde se deroga la definición de *aprovechamiento* del Decreto 1713 de 2002, en donde se menciona el compostaje como una alternativa para el aprovechamiento de los residuos sólidos. Igualmente cabe mencionar la reforma en el artículo 8, en cuanto a la obligatoriedad del Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), aplicado en este caso para Municipios o Distritos.

En cuanto a las tarifas del Servicio Público de Aseo, para recolección, transporte y disposición final de los residuos, la UESP<sup>84</sup> (Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos) estableció la *Resolución 156 del 25 de septiembre de 2003*, por la cual se ajusta la estructura tarifaria en el Distrito Capital de Bogotá. Aquí se establecen los precios de acuerdo a la clasificación estipulada en la resolución, además de la

---

<sup>83</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1505 de 2003. Colombia. 2003. 4 p

<sup>84</sup> UNIDAD EJECUTIVA DE SERVICIOS PÚBLICOS (UESP). Resolución 156 de 2003. Colombia. 2003. 13 p.

respectiva zonificación propuesta. El artículo 3, parágrafo 3, fija la posibilidad de solicitar un aforo extraordinario en caso de que el usuario considere que su rango de producción mensual es inferior a la aplicada en vigencia para esto se debe acoger a la Resolución CRA 151 de 2001, para aforos extraordinarios, con lo cual se podrá fijar la nueva tarifa para el respectivo usuario.

Por otro lado está el reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia. Expedido por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA<sup>85</sup>, en la Resolución 150 del 21 de enero de 2003. En el que se pretende orientar la comercialización y el uso adecuado de los fertilizantes del suelo, establecer los requisitos y procedimiento internacionales vigentes, para así lograr su posterior venta, con lo cual se promueve el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Esta resolución es fundamental para tenerla en cuenta en lo relacionado con el comercio del compost, también es necesario contemplar ciertos parámetros, como lo es el registro ante el ICA, estipulado en el artículo 4, además de las obligaciones establecidas en el artículo 7, en cuanto al envasador o empacador de fertilizantes y acondicionadores de suelo; el artículo 11, de las obligaciones de las importadoras y distribuidoras y los demás estipulados en la resolución que son de especial interés, si se desea comercializar los fertilizantes.

En 2004, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC<sup>86</sup>, expide la Norma Técnica Colombiana NTC 5167, que estipula los parámetros que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben estar sometidos los productos orgánicos usados como enmiendas o reparadores del suelo. Específicamente en la tabla 1, primera parte, muestra los parámetros a caracterizar para los fertilizantes o abonos orgánicos obtenidos a partir de la estabilización de residuos de animales,

---

<sup>85</sup> INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. Resolución 150 de 2003. Colombia. 2003. 16 p.

<sup>86</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS-ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 5167. Colombia. 2004. 32 p.

vegetales o residuos sólidos urbanos, lo cual aplica para este proyecto, por el tipo de residuos a tratar. Además menciona cada uno de los ensayos que se le deben hacer a la muestra y el procedimiento correspondiente.

Posteriormente en el año 2005, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA<sup>87</sup>, emite la *Resolución CRA 351 de diciembre 20*, la cual establece el régimen tarifario aplicable a la prestación del servicio público domiciliario de aseo en todo el territorio nacional.

La metodología para calcular los costos del servicio de aseo, se discriminan en el título II de la mencionada resolución, valorados según el costo fijo medio de referencia, CFMR y el costo variable medio de referencia, CVMR. Igualmente en el artículo 14, se tiene en cuenta el costo de transporte por tramo excedente, CTE y en el artículo 15, el costo de tratamiento y disposición final, CDT. Además hay que destacar las metodologías para los componentes del servicio público de aseo antes y después de contribuciones y subsidios correspondientes al título IV y V. Como complemento esta la Resolución *CRA 352 del 20 de diciembre de 2005*, expedida por la CRA<sup>88</sup>, la cual tiene como finalidad determinar los parámetros para la estimación del consumo en el marco de la prestación del servicio público domiciliario de aseo. Para esto es necesario calcular la cantidad de residuos sólidos presentados para la recolección por cada suscriptor.

El 15 de agosto del mismo año la Alcaldía Mayor emite el *Decreto 312 del 15 de agosto de 2006*, por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en el Distrito Capital -PMIRS-, para planificar y reglamentar el Sistema de Saneamiento Básico del Distrito Capital, según lo establece el artículo 2, el decreto aplica a todas las personas que generan, reciclan y aprovechan

---

<sup>87</sup> COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Resolución CRA 351 de 2005. Colombia. 2005. 28 p.

<sup>88</sup> COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Resolución CRA 352 de 2005. Colombia. 2005. 6 p.

residuos sólidos ordinarios y especiales y a las entidades públicas y personas o empresas privadas y organizaciones comunitarias y cooperativas vinculadas a la prestación del Servicio Público de Aseo. En este sentido se evidencia la participación de la Universidad como entidad privada, además de que establece la infraestructura por el tipo de proceso y residuo, que para este caso corresponde, tratamiento de orgánicos mediante planta de compostaje, que concuerda totalmente con la finalidad de este trabajo.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 CLASE DE INVESTIGACIÓN

Según la clasificación propuesta por Grajales<sup>89</sup> esta investigación es de tipo descriptivo cuyo objetivo es desarrollar una representación (descripción) del fenómeno estudiado a partir de sus características. Midiendo variables con el fin de especificar las propiedades importantes del fenómeno bajo análisis. La cuál constará de varias etapas: como lo es una caracterización que permitirá dar lugar a establecer los parámetros de diseño del sistema de compostaje.

Es además, de tipo experimental porque consiste en la evaluación de cuatro tratamientos de compostaje aerobio con aireación natural, sometidos a diferentes variables manipuladas por el investigador, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir la diferencia entre resultados que sean generados por los tratamientos. A partir del aumento o disminución de las mismas y efecto en las conductas observadas, de acuerdo con las variables de control: Temperatura, pH y Humedad, durante el proceso de monitoreo en las pilas de compostaje.

#### 5.1.1 HIPÓTESIS DEL TRABAJO DE GRADO

Para responder la pregunta de trabajo:

¿Cuál es el mejor tratamiento de compostaje aerobio para el aprovechamiento de los residuos sólidos biodegradables, en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y económicas del contexto?

---

<sup>89</sup> GRAJALES G, Tevni. Tipos de Investigación. 2000

Se propusieron las siguientes hipótesis:

#### 5.1.1.1 Hipótesis de trabajo:

El tratamiento seleccionado para el sistema de compostaje en la Universidad Libre, Sede Bosque Popular, es por compostaje aerobio con aireación natural inducida por tuberías perforadas, con manejo de lixiviados por geomembrana. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos con el fin de tomar decisiones frente al manejo operativo de las mismas.

#### 5.1.1.2 Hipótesis nula:

El sistema por compostaje por aireación natural no es el más adecuado para las condiciones del contexto de la Universidad Libre, Sede Bosque Popular, es necesario generar aireación forzada para acelerar el proceso, debido a que la temperatura de Bogotá no es la más adecuada para la rápida biodegradación de los residuos. El monitoreo de parámetros fisicoquímicos no es suficiente para la toma decisiones frente al manejo operativo de las mismas.

#### 5.1.2 Variables de Trabajo

Las variables que se identifican para el proceso de compostaje, se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Variables del problema.

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>	<b>VARIABLES INTERVINIENTES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Residuos Orgánicos Biodegradables</li><li>✓ Equipos de medición y herramientas</li><li>✓ Tratamientos (tubería y manguera perforada, microorganismos eficientes (EM))</li><li>✓ Investigador</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Producción de Compost</li><li>✓ Lixiviados</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Vectores</li><li>✓ Normatividad vigente</li></ul>

Fuente: Propia.

## 5.2 DISEÑO ESTADISTICO

Se plantea un Diseño Completamente al Azar, según López<sup>90</sup> la estructura de este análisis es simple, permite máxima flexibilidad en cuanto al número de tratamientos y al número de repeticiones. La pérdida de observaciones durante la conducción del experimento no genera dificultades en el análisis y en la interpretación de los resultados. (Ver tabla 5)

Las hipótesis más importantes a analizar son:

$H_0 = T = T_i$  (Todos los tratamientos producen el mismo efecto).

$H_1 = T \neq T_i$  (Al menos uno de los tratamientos produce efectos distintos).

### LA TABLA DE ANOVA SERÁ:

Tabla 5. ANOVA

Fuentes de variación (FV)	Grados de libertad (gl)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	Valor de F
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	$SC_{trat} / gl_{trat}$	$CM_{trat} / CM_{ee}$
Error	$t (r - 1)$	$SC_{total} - SC_{trat}$	$SC_{ee} / gl_{ee}$	
Total	$tr - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		

Fuente: López, 2008.

### Regla de Decisión

Rechazar  $H_0$ . Si el valor de  $Pr > F < F_{critico}$

Acepto  $H_0$ . Si el valor de  $Pr > F > F_{critico}$

<sup>90</sup> LOPEZ, Ezequiel. Diseño y Análisis de Experimentos: Fundamentos y Aplicaciones en Agronomía. Guatemala. 2008. 19-25p.



## **Desarrollo en SAS 9.2**

Empleando este software de análisis estadístico se busca obtener los valores de los valores de F para las fuentes de variación.

Se plantean tres diferentes supuestos a verificar:

- Los errores se distribuyen normalmente. (Shapiro-Wilk se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos)
- La varianza es constante. (Test de Barklet ampliamente usada para probar homogeneidad de varianza)
- La variable respuesta se relaciona linealmente con la(s) variable(s) independiente(s) (T de student para la determinación de las diferencias entre medias muestrales)

Además se usaron los siguientes test para evaluar la diferencia entre los tratamientos:

- Test de Tukey para comparar las medias entre los tratamientos después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA (método más aceptado)
- Test de Duncan Permite comparar las medias de los t niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA.
- Test de Scheffe es una prueba que se aplica para hacer comparaciones múltiples de las medias de grupos.
- Test snk comparar las medias de los niveles.

Posteriormente se realizó la prueba en el editor, se introdujeron los datos, presentados en 5 columnas, las cuales son: TTO (Tratamiento), REP (Repetición), TEMP (Temperatura), HUM (Humedad), pH (pH), así se evaluó cada día de datos para saber si hubo o no diferencia entre los tratamientos y se determinó en qué punto se estabilizaron.

La prueba en el editor se hizo como se muestra a continuación, en donde se establecen 5 columnas: TTO (Tratamiento) REP (Repeticiones) TEMP (Temperatura) HUM (Humedad) y PH (pH), a continuación se muestra un ejemplo con una parte de los valores correspondientes al *DIA* 6 de toma de datos ya que este día es clave por ser uno en el que se presentó la mayor temperatura en cada uno de los tratamientos.

```
data DIA;
input TTO REP TEMP HUM PH;
datalines;
1      1      34      25      7.80
1      1      32      25      7.80
1      1      32      20      7.80
1      2      36      30      7.80
1      2      34      25      7.50
1      2      36      30      7.80
1      3      38      25      7.50
1      3      38      30      7.50
1      3      36      30      7.80
2      1      50      30      7.80
2      1      50      30      7.80
2      1      52      30      7.80
2      2      48      30      7.50
2      2      50      30      7.80
2      2      48      35      7.80
2      3      50      35      8.00
2      3      50      35      7.50
2      3      51      30      8.00
;
proc print;
proc glm;
  class TTO REP;
  model TEMP=TTO REP;
  output out=Resi R=er P=pred;
  means TTO/tukey Duncan scheffe snk;
run;
PROC UNIVARIATE NORMAL;
VAR er;
PROC GLM;
CLASS TTO;
MODEL er=TTO;
MEANS TTO/HOVBTEST=BARTLETT;
RUN;
```

Así se evalúa cada una de las variables cambiando en donde dice `model` la variable a analizar ya sea TEMP (temperatura), HUM (humedad) o PH (pH). Los datos están organizados como dice el encabezado TTO (tratamiento), REP

(repeticiones), TEMP (temperatura), HUM (humedad) y PH (pH). Así como se presentó en el ejemplo anterior se analizaron los resultados para cada uno de los 56 días de datos.

### 5.3 DISEÑO METODOLÓGICO

#### 5.3.1 Fase 1

##### Diagnóstico

La cual pretendió diagnosticar la situación actual del proceso de los residuos biodegradables que se estaba realizando en la Universidad Libre, por medio de observación directa, para así poder entrar a mejorar los aspectos negativos y aprovechar los positivos ya existentes.

Para lo cual fue necesario observar el área donde se ubicaron las pilas, hacer una descripción del proceso actual, revisar estudios anteriores de planes y/o proyectos emprendidos, se tomó un registro fotográfico con el fin de mostrar estas condiciones iniciales. Se planteó en un matriz DOFA que permitió extraer las oportunidades de mejora y tener en cuenta las amenazas para el momento del montaje de la planta piloto de compostaje, entre otros.

#### 5.3.2 Fase 2

Evaluación de los Tratamientos y elección del más adecuado según el contexto del campus universitario.

Se evaluaron cuatro tratamientos de compostaje aerobio y un blanco, para el proceso de transformación de la materia orgánica en la Universidad Libre, mediante un monitoreo, con el fin de controlar y realizar el respectivo seguimiento, de las condiciones y parámetros que acondicionaron el proceso. Para llevar a cabo esta fase fue necesario el montaje de una planta piloto que permitió hacer el

monitoreo de los parámetros de respuesta en el proceso, como lo fue la temperatura y las variables a garantizar, pH y humedad.

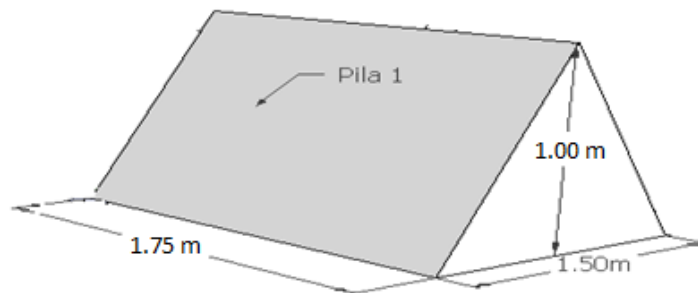
Esto con el objetivo de proponer el sistema de compostaje más efectivo para el campus universitario, que permita la rápida biodegradación de la materia orgánica dispuesta en las pilas, integrando el manejo adecuado de lixiviados.

#### 5.3.2.1 Dimensionamiento y adecuación de las pilas

De acuerdo a los autores consultados en el marco teórico, las pilas más apropiadas para la rápida biodegradación de los residuos oscilan en diferentes rangos ya nombrados, por lo que se optara en principio por formar pilas de 1,5 m de ancho, 1,0 m de altura y para el largo se cuenta con un valor total de 1,75 m, con el fin de generar diferentes condiciones en 12 de ellas y 3 serán los blancos. Lo anterior se muestra en la figura 11, 12 y 13.

En cuanto a las condiciones a las que estuvieron sometidas las pilas, se explican en la tabla 6.

Figura 11. Dimensión de una pila en planta piloto.



Fuente: Propia

Tabla 6. Condiciones a las que estuvieron sometidas las pilas

T: Tratamiento (1-5)

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
<b>Pila 1 – 3 Blanco</b>	<b>Pila 4 – 6</b>	<b>Pila 7- 9</b>	<b>Pila 10 -12</b>	<b>Pila 13 -15</b>
-Material a compostar -Con volteo (cada 15 días)	-Material a compostar -Aireación natural inducida por 1 Tubería PVC Perforada 4"	-Material a compostar -Aireación natural inducida por 2 Mangueras Perforadas 2"	-Material a compostar -Aireación natural inducida por 1 Tubería PVC Perforada 4" -Uso de Microorganismos Eficientes (EM)	- Material a compostar -Aireación natural inducida por 2 Mangueras Perforadas 2" - Uso de Microorganismos Eficientes (EM)

Fuente: Propia

Como se muestra en la tabla 6, los tratamientos del 2 al 5, tuvieron manguera y tubería perforada, debido a que necesitaba suministrar aire a las pilas ya que estas no tenían volteo manual por lo cual se necesitaba garantizar la administración de aire. Cada uno de éstos tenía una longitud de 1,80 m y fue perforado con un diámetro de agujero de 8,0 mm y un espacio entre agujeros de 1,0 cm de extremo a extremo.

La dirección de la tubería y la manguera se eligió en base a los datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, los cuales arrojan que la dirección predominante de los vientos en Bogotá D.C es en la dirección Noreste. Así posteriormente, se usó una brújula, ubicando la tubería y la manguera en ésta dirección.

En relación a la dosificación de microorganismos eficientes, se compraron ejemplares de 4 L de EM inóculo microbial para compostaje registro de venta ICA No. 5480 a nombre de Fundases. Buscando evitar el vencimiento del mismo, se aplicaron 1,20 L por cada pila (0,24 Ton = 240 kg) en todo el proceso, fueron distribuidos en 8 tomas de 0,15 L de EM semanalmente.

1 L de EM se diluyó en 9 L de AGUA, así:

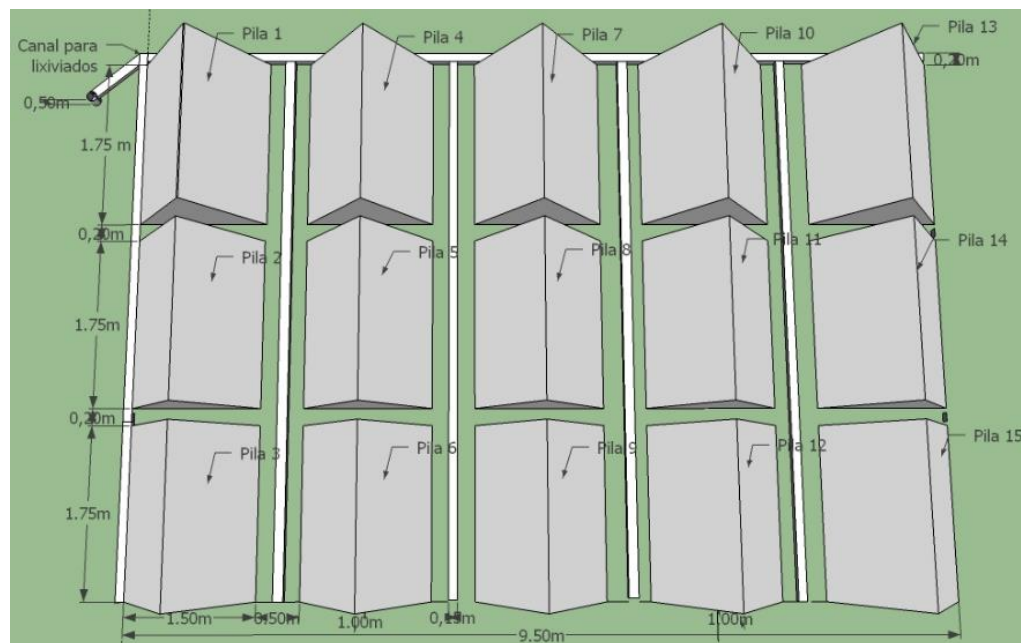
0,15 L de EM se mezclaron en 1,35 L de Agua

Entonces:

POR CADA PILA SEMANALMENTE SE SUMINISTRARON: 0,15 L de EM (150 ml) 1,35 L de Agua (1350 ml)
---

Asimismo para los tratamientos 4 y 5, se le adicionó a una de las 6 pilas 0,2 kg de melaza (0,1% de los residuos usados en peso) al finalizar el mes 1 con el fin de reactivar la degradación.

Figura 12. Vista superior zona piloto en metros (m)



Fuente: Propia

El área del terreno con el que se dispuso para montar la planta piloto, era de 12 m de ancho por 6,0 m de largo. Debido a esto, fue necesario distribuir el espacio óptimamente, por lo que se plantearon 15 pilas con las dimensiones anteriormente mencionadas. En el extremo izquierdo de las pilas hacia donde está la pendiente del terreno, se hizo un canal principal que es transversal a las pilas de 20 cm x 20



#### 5.3.2.3 Parámetros de Control

Se monitoreó la temperatura, la humedad y el pH, durante el primer mes el seguimiento se hizo a diario, debido a que en esta fase inicial los microorganismos tienen mayor actividad y se alcanzan las mayores temperaturas del proceso. Posteriormente se tomaron tres mediciones semanales hasta la culminación del proceso (aproximadamente tres meses).

Para la medición de la temperatura, se usó un termómetro punzón en acero inoxidable; para la humedad se usó un higrómetro mecánico; para el pH un potenciómetro mecánico in situ y uno digital HANNA del laboratorio. Este monitoreo permitió vigilar las condiciones.

#### 5.3.3 Fase 3

Establecimiento del uso potencial del compost como abono orgánico

Finalmente se llevaron a cabo los diferentes estudios de suelos, que permitieron determinar las características del compost obtenido en cada uno de los tratamientos evaluados.

En cuanto a los parámetros caracterizados exigidos en la norma NTC 5167 para abonos orgánicos, éstos son mostrados en la tabla 7 presentada a continuación. Igualmente para el análisis realizado al lixiviado producido se tomaron los parámetros establecidos en la misma norma para abonos líquidos, éstos se presentan en la tabla 8.



Tabla 7. Requisitos específicos para muestras sólidas según norma para abonos orgánicos NTC 5167.

Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas													
Fertilizantes o abonos orgánicos.													
Clasificación	Indicaciones relacionadas con	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)										
1	2	3	4										
Abono orgánico	Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de <b>residuos</b> de animales, <b>vegetales</b> o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	<ul style="list-style-type: none"><li>* Pérdidas por volatilización %</li><li>* Contenido de cenizas máximo 60%</li><li>* Contenido de humedad:<ul style="list-style-type: none"><li>- Para m materiales de origen animal, máximo 20%</li><li>- Para m materiales de origen vegetal, máximo 35%</li><li>- Para m mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.</li></ul></li><li>* Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15%.</li><li>* N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Y K<sub>2</sub>O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%)</li><li>* Relación C/N</li><li>* Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg (meq/100g)</li><li>* Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso.</li><li>* pH mayor de 4 y menor de 9</li><li>* Densidad máximo 0,6 g/cm3</li><li>* Límites máximos en mg/kg (ppm)) de los metales pesados expresados a continuación.<table><tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr><tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1 200</td></tr><tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr><tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr><tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr></table></li><li>* Se indicará la materia prima de la cual procede el producto.</li></ul>	Cadmio (Cd)	39	Cromo (Cr)	1 200	Mercurio (Hg)	17	Níquel (Ni)	420	Plomo (Pb)	300	<ul style="list-style-type: none"><li>Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C)</li><li>Humedad máxima (%)</li><li>Contenido de Cenizas (%)</li><li>Capacidad de intercambio catiónico (cmol (+)kg-1) (meq/100g)</li><li>Capacidad de retención de humedad (%)</li><li>pH</li><li>Contenido de Nitrógeno Total (%N)</li><li>Densidad (g/cm3)</li></ul>
		Cadmio (Cd)	39										
Cromo (Cr)	1 200												
Mercurio (Hg)	17												
Níquel (Ni)	420												
Plomo (Pb)	300												
* La suma de estos parámetros debe ser 100													

Fuente: NTC 5167.

Tabla 8. Requisitos específicos para muestras líquidas según norma para abonos orgánicos NTC 5167.

Fertilizantes o abonos orgánico – minerales			
Clasificación del producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)
1	2	3	4
abono orgánico mineral líquido	Producto líquido obtenido por adición de agua a un abono orgánico, orgánico mineral sólido o mezcla de los anteriores, con posterior extracción al que puede o no añadirse un fertilizante mineral y que cumple con los parámetros que se indican.	* Sólidos suspendidos máximo 4% * Contenido de Carbono Orgánico Oxidable total mínimo 20 g/l * N total + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O, mínimo 40 g/l * Riqueza máxima potasio 50 g/l de K <sub>2</sub> O * CaO y MgO reportar en g/l * Elementos menores, reportar en g/l * Contenido de sodio, reportar * Densidad, reportar * pH, reportar * Conductividad eléctrica, reportar Límites máximos en mg/l (ppm) de los metales pesados (sólo para productos de mezcla con residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales o residuos sólidos urbanos separados en la fuente): Arsénico (As) 41 Cadmio (Cd) 39 Cromo (Cr) 1 200 Mercurio (Hg) 17 Níquel (Ni) 420 Plomo (Pb) 300 *Se indicará la materia prima de la cual procede el producto.	Sólidos suspendidos (%) Contenido orgánico oxidable total (g/l) Contenido total de Nitrógeno (%Nt) El Nitrógeno se expresará en forma orgánica y mineral N org N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Contenido de potasio (g/l K <sub>2</sub> O) Contenido de Fósforo (g/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Contenido de metales pesados (mg/l) (ppm)

Fuente: NTC 5167.

Para realizar cada análisis se usaron los procedimientos establecidos en la norma misma, en donde se muestra paso a paso como ejecutar los ensayos correspondientes, en cuanto a los faltantes en ésta fuente se usó el libro Prácticas de Análisis Químico de Suelos de la Universidad Industrial de Santander del año 2008.

Los procedimientos de los análisis elaborados por la fuente propia se muestran en el anexo 1. Estos resultados permitieron comparar los parámetros de compost obtenido con el aceptable.

Para llevar a cabo el control de los parámetros en campo, se usó un formato, preliminar, como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Formato de control

Formato de Campo

Lugar: Universidad Libre  
Sede Bosque Popular

Hora  
Inicial:  
Final:

Coordenadas:  
N: 4° 39' 57.15"  
W: 74° 05' 59.97"

Temperatura ambiente (oC):  
Cantidad de Material (Kg):  
Fecha:

Inicial:  
Final:

No Fila	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	pH	OBSERVACIONES
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Fuente: propia.

5.3.4 Fase 4

Beneficio Ambiental y Viabilidad Financiera del Sistema de Compostaje

Con esta fase se pretendió determinar el beneficio ambiental que se generó al interior de la Universidad, al reducir el uso de abonos químicos por el reemplazo del abono producido en la planta piloto, el beneficio de no disponer los residuos en el relleno sanitario. Además se hizo un análisis de la viabilidad financiera contemplando el presupuesto propuesto, los costos, posibles ingresos e inversión. Haciendo una proyección de las cantidades obtenidas en la planta piloto. Para lo cual se realizó un flujo de caja, uso de indicadores financieros y un análisis de recuperabilidad de la inversión.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL DEL PROCESO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR

Para analizar la situación actual se usó una matriz DOFA elaborada en el año 2013 que incluyó el análisis de las potenciales estrategias para fortalecer en centro de compostaje de la Universidad Libre Sede Bosque Popular, a continuación se presenta la matriz en la tabla 9.

Allí se muestran las debilidades (D), oportunidades (O), fortalezas (F) y amenazas (A) que fueron identificadas en el diagnóstico inicial realizado al proceso en general de manejo de residuos sólidos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, así como a la zona asignada por la administración en la que se hizo el montaje de la planta piloto de compostaje. De allí se tomaron diferentes ideas que fueron implementadas en el área de trabajo, como las medidas para proteger las pilas en caso de lluvias fuertes, la reutilización de materiales y herramientas de trabajo usadas en el proyecto (tubería, manguera, plástico, etc.), entre otros.

Tabla 9. Matriz DOFA

	INTERNAS	<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
<b>OBJETIVO</b>		Apoyo por parte de administrativos y directivos	No existe presupuesto asignado directamente para el desarrollo del proyecto
Diagnosticar la situación actual del proceso de los residuos biodegradables que se está realizando en la Universidad Libre sede Bosque Popular, identificando fortalezas y aspectos a mejorar a partir de observación directa.		Existe personal asignado para labores de jardineria	No se da prioridad a los procesos relacionados con el SIGAUL lo que retrasa el trabajo
		Proyecto responde a misión, visión, de la Universidad	El sistema necesita monitoreo permante y no se cuenta con personal que tenga funciones específicas asignadas para el proyecto
		El proyecto de manejo de residuos solidos estimula a los empleados con bonos para apoyar el proceso	Falta de un lugar permanente asignado para el desarrollo del proyecto
		Se cuenta con espacio temporal, algunos materiales usados y la potencial infraestructura para el desarrollo del centro de compostaje	Nivel freatico alto que produce encharcamiento de la zona asignada para la investigación
		Monitoreo permante de las labores adelantadas por el sistema de gestión ambiental SIGAUL que incluye dicho proyecto	
<b>EXTERNAS</b>			
<b>OPORTUNIDADES</b>		<b>ESTRATEGIAS F.O.</b>	<b>ESTRATEGIAS D.O.</b>
		Cómo usar las F. para aprovechar las O.	Cómo cambiar las D. para poder aprovechar las O.
En el medio existe nueva tecnología y herramientas para un desarrollo mas optimo del centro de compostaje (compra de tecnología)		Dotarse con mejor tecnología para la mejora del proceso	Dar a conocer los beneficios que trae el proyecto con el fin de conseguir apoyo por parte de las directivas
Colciencias y otras entidades que asignan recursos monetarios para proyectos de investigación		Implementar medidas internas que permitan contribuir con la protección del medio ambiente.	Hacer uso de la tecnología en pro de mejorar el proceso
Elección del personal necesario o practicantes que pueden apoyar el proceso		Realizar capacitaciones al personal de la Universidad que sea el encargado del proyecto	Logrando que asignen personal para labores específicas
Se logra concienciación ecológica de la sociedad		Conseguir el apoyo de entidades o personas que conozcan del tema, como lo son tecnicos o pasantes del sena que puedan monitorear el proceso	Planificar el proceso de compra de herramientas o equipos para desarrollar una labor adecuada
			Realizar inducciones y manejar periodos de prueba, con el fin de elegir el personal adecuado para las funciones necesarias
			Realizando pequeñas obras de ingeniería como: canales, con el fin de prevenir encharcamientos debido a las condiciones del terreno
<b>AMENAZAS</b>		<b>ESTRATEGIAS F.A.</b>	<b>ESTRATEGIAS D.A.</b>
		Cómo usar las F. para controlar las A.	Cómo modificar las D. para poder sortear las A.
Perder el beneficio tarifario, si no se recuperan los residuos orgánicos que ocupan gran volumen en la Universidad		Asignando un equipo que vele por el correcto desarrollo del proyecto evitando cualquier sanción y perdida de beneficios adquiridos	Mostrando el beneficio económico y ambiental del proyecto vs materiales que son comprados por la Universidad (como abonos químicos) buscando la prolongación del mismo
Un mal manejo de residuos orgánicos puede traer sanciones de la secretaria de ambiente y d e la secretaria de salud		El SIGAUL de a conocer las labores que se desarrollen a toda la comunidad universitaria mostrando el beneficio social	Continuar con los procesos de monitoreo y seguimiento del proceso de compostaje
El mal manejo puede afectar la imagen corporativa de la Universidad respecto a la gestion social			

Fuente: propia

### 6.1.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR

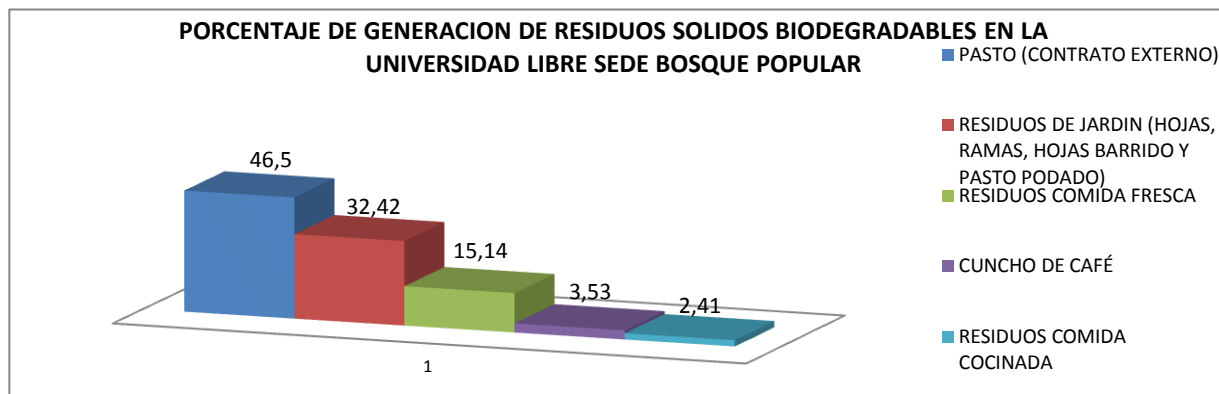
Inicialmente se determina la cantidad de residuos sólidos biodegradables que se generan al interior de la Universidad Libre Sede Bosque Popular, a partir de esta caracterización se seleccionaron los residuos que usaron posteriormente en la planta piloto, la tabla 10 muestra la información obtenida y la gráfica 2 representa porcentaje de generación de residuos sólidos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular en el periodo de Junio a Noviembre de 2013.

Tabla 10. Generación de residuos sólidos biodegradables periodo Junio a Noviembre de 2013

TIPO	CANTIDAD EN kg/semana	CANTIDAD EN kg/Mes	PORCENTAJE DEL TOTAL (%)
RESIDUOS PASTO (CONTRATO EXTERNO)	466,2	1864,80	46,50
RESIDUOS DE JARDIN (HOJAS, RAMAS, HOJAS BARRIDO Y PASTO PODADO)	325	1300	32,42
RESIDUOS COMIDA FRESCA	151,8	607,2	15,14
CUNCHO DE CAFÉ O CAFÉ HUMEDO	35,38	141,52	3,53
RESIDUOS COMIDA COCINADA	24,2	96,8	2,41
TOTAL	1002,58	4010,32	100

Fuente: Propia

Gráfica 2. Porcentaje de generación de residuos sólidos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular



Fuente: Propia

De acuerdo a la gráfica 2 se puede observar que la máxima cantidad de residuos corresponde al pasto que es recogido cada 45 días por una empresa externa contratista, debido a que la Universidad no tiene la capacidad en personal para encargarse de mantener la totalidad de las zonas verdes. Por lo cual solo es competencia de los jardineros de la Universidad encargarse de los jardines. Estos residuos a su vez ocupan el segundo lugar en la generación de residuos. En tercer lugar está la comida fresca que corresponde a las cascarras de todos los residuos vegetales que se obtienen en las dos cafeterías que están al interior del campus que vienen mezclados con los residuos de comida cocinada (sobras de los almuerzos). Finalmente se contemplan los cunchos del café que se producen en las cafeterías que hay en cada bloque de uso administrativo y docente.

En la foto 1 se muestra el pesaje que se hizo el día de la caracterización de residuos sólidos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular.

Foto 1. Caracterización de residuos orgánicos



Fuente: Propia

En la tabla 11 se discrimina la generación de cunchos de café provenientes de las cafeterías de docentes y administrativos en el bloque D, C (primer y segundo piso), bloques A y P. Igualmente en la tabla 12 se muestra la cantidad de residuos

de comida fresca y cocinada en cada una de las dos cafeterías que hay en la Universidad.

Tabla 11. Generación de cunchos de café

<b>FUENTE</b>	<b>CANTIDAD EN kg/semana (5 DIAS)</b>	<b>PORCENTAJE DEL TOTAL (%)</b>
BLOQUE D (CIENCIAS)	13,0	36,74
BLOQUE C PRIMER PISO (CONTADURIA)	8,6	24,31
BLOQUE C SEGUNDO PISO (CONTADURIA)	7,5	21,20
BLOQUE A (INGENIERIA)	3,28	9,27
BLOQUE P (POSGRADOS)	3,0	8,48
TOTAL	35,38	100

Fuente: Propia

Tabla 12. Generación de residuos de comida

<b>FUENTE</b>	<b>RESIDUOS COMIDA FRESCA kg/semana (5 DIAS)</b>	<b>RESIDUOS COMIDA COCINADA kg/semana (5 DIAS)</b>	<b>PORCENTAJE DEL TOTAL (%)COMIDA FRESCA</b>	<b>PORCENTAJE DEL TOTAL (%)COMIDA COCINADA</b>
CAFETERIA BLOQUE C (CONTADURIA)	16,4	2,2	59,42	52,38
CAFETERIA BLOQUE D (CIENCIAS)	11,2	2	40,58	47,62
TOTAL	27,6	4,4	100	100

Fuente: Propia

Con esta cuantificación de residuos e identificación de las fuentes se eligen los residuos que se dispondrán en la planta piloto y serán objeto de estudio, se seleccionan los residuos de jardín correspondientes a hojas, ramas, hojas barrido y pasto podado, que es recolectado por los jardineros de la Universidad al igual que los cunchos del café generados en las cafeterías de cada bloque, según la tabla 11 en el Bloque D se obtuvo la mayor cantidad de estos residuos; con respecto a los residuos de comida fresca y cocinada las cantidades generadas se muestran en la tabla 12. Estos no son incluidos en la planta piloto debido a que como se mencionaba anteriormente, los residuos de comida fresca vienen mezclados con los de comida cocinada y adicionalmente ya se había probado el montaje de pilas para obtención de compost dentro de la administración del



SIGAUL en el año 2012 adicionando estos residuos y el área se infesto de plagas y vectores, por lo cual se decidió no incluirlos dentro de la presente investigación.

#### 6.1.2 SITUACIÓN INICIAL DEL ÁREA DE TRABAJO

La administración del sistema de gestión ambiental de la Universidad Libre SIGAUL está encargada de la línea de residuos sólidos en donde se viene trabajando con los residuos inorgánicos con su comercialización mientras que con los residuos orgánicos únicamente se realiza una disposición de los mismos formando pilas de residuos que tenían un volteo manual quincenal o mensual dependiendo de la disponibilidad del personal de servicios generales dadas las limitaciones de mano de obra, posteriormente eran tapados con plástico, este es el único tratamiento que se les realiza, en el año 2013 no se estaba haciendo nada ya que ocuparon el espacio que había sido asignado por la administración de la Sede Bosque con todas las bajas de cada salón y bloques del año 2012 (incluía chatarra, sillas, lockers, madera, vidrio, mesas, etc.) , por lo cual el área donde se hizo el montaje de la planta piloto estaba totalmente invadida.

#### 6.1.3 ADECUACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

La adecuación del área y montaje de las pilas inicio el 12 de junio de 2013 y termino el 11 de julio de 2013, se contó con la colaboración de dos personas de servicios generales asignados por la Administración de la Universidad que apoyo el proyecto permanentemente en todo lo que estaba a su alcance. Se integraron materiales usados que fueron rehusados como lo fue la manguera, la tubería, entre otros).

A continuación se muestra la tabla 13 que incluye fotografías con lo realizado para adecuar el lugar.

Tabla 13. Montaje Planta Piloto de Compostaje

TIEMPO EN SEMANAS	DESCRIPCIÓN DE LO REALIZADO	FOTOGRAFIAS	
1.LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO	<p>-Limpieza del área para planta piloto (foto 2)</p> <p>-Trazado de las dimensiones de las pilas de compostaje con ayuda de estacas (foto 3).</p>	<p>Foto 2</p> 	<p>Foto 3</p> 
2. ADECUACION DE LUGAR	<p>- Adecuación de guaya metaliza para la carpa, se instalaron cuatro filas a lo largo de la carpa para evitar el colapso de la misma por formación de burbujas de agua (foto 4).</p> <p>-Trazado de canales longitudinales entre pilas y canal principal que corta transversalmente (foto 5)</p> <p>-Trazado de pendiente del terreno para la conducción de lixiviados (foto 6)</p> <p>-Perforación pozo para la recolección de lixiviados (foto 7)</p> <p>-Limpieza de área por la cantidad de vidrio que tenía el lugar</p> <p>-Instalación de la geomembrana, formación de los canales para la conducción del lixiviado (foto 8 y 9)</p>	<p>Foto 4</p> 	<p>Foto 5</p> 
		<p>Foto 6</p> 	<p>Foto 7</p> 
		<p>Foto 8</p> 	<p>Foto 9</p> 

<p>3. CONSTRUCCIÓN DEL CANAL PERMIETRAL</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desplazamiento de la carpa 2m adelante y 2 m a la derecha del sitio inicial debido a una granizada que encharco el área (foto 10).</li> <li>-Marcada e iniciación de un canal perimetral para transporte de agua lluvia hacia el desagüe (Foto 11)</li> <li>-Modificación del punto de caída del agua lluvia para lo cual se instaló alambre en cinco partes de la carpa a cada lado distribuidos proporcionalmente (Foto 12)</li> <li>-Adecuación de soportes para anclar la geomembrana (Foto 13)</li> </ul>	<p>Foto 10</p>  <p>Foto 11</p>  <p>Foto 12</p>  <p>Foto 13</p> 
<p>4. ADECUACIÓN FINAL DEL ÁREA Y DE L MATERIAL A USAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Terminación del canal perimetral para transporte de agua lluvia y finalización de canal para el desagüe (Foto 14)</li> <li>-Instalación barrera protectora lateral con plástico, piedra y arcilla (Foto 15)</li> <li>-Trituración de material a tratar con maquina guadañadora (Foto 16)</li> <li>-Traslado de material de</li> </ul>	<p>Foto 14</p>  <p>Foto 15</p> 



<p>4.</p> <p>ADECUACIÓN FINAL DEL ÁREAY DE L MATERIAL A USAR</p>	<p>la parte posterior de los laboratorios de ingeniería a la zona de trabajo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Traslado de máquina trituradora al ala izquierda de la carpa</li> <li>-Marcación del área de cada pila y pesada de los residuos (Foto 17)</li> <li>-Doblado final de la geomembrana para el recubrimiento del canal principal de lixiviados</li> <li>-Aplicación de pintura a los alambres laterales con color blanco para aumentar visibilidad (foto 18)</li> <li>-Corte y perforación de mangueras y tubería de PVC (Foto 19 y 20)</li> </ul>	<div> <div>Foto 16</div> <div>Foto 17</div> </div> <div> <div>Foto 18</div> </div> <div> <div>Foto 19</div> <div>Foto 20</div> </div>
<p>5.</p> <p>TRANSPORTE DE MATERIAL Y MONTAJE DE LAS PILAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Traslado de material hasta área de trabajo (Foto 21)</li> <li>-Pesada de residuos y montaje de pilas para compostaje (Foto 22)</li> <li>-Fumigación de pilas con EM, medición previa en el laboratorio (Foto 23 24)</li> <li>-Corte de geomembrana para entrada de lixiviados a la caneca</li> <li>-Medición de la capacidad</li> </ul>	<div> <div>Foto 21</div> <div>Foto 22</div> </div> <div> <div>Foto 23</div> <div>Foto 24</div> </div>

<p>5. TRANSPORTE DE MATERIAL Y MONTAJE DE LAS PILAS</p>	<p>de campo (Foto 25)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Corte e instalación de plástico para recubrimiento lateral de la carpa</li> <li>-Cubrimiento de las pilas con plástico (Foto 26)</li> <li>-Trazado y perforación de canal para manguera para el riego (Foto 27)</li> <li>-Montaje para el sistema de riego con aspersor (Foto 28)</li> </ul>	<p>Foto 25</p> 	<p>Foto 26</p> 
		<p>Foto 27</p> 	<p>Foto 28</p> 

## 6.2. COMPOSTAJE EN PLANTA PILOTO

Se realizó el montaje de la planta piloto de compostaje, de acuerdo a la metodología anteriormente establecida, en donde se describían las actividades y la forma en la que se establecieron las pilas para la obtención de compost y los diferentes parámetros que fueron medidos.

Conforme a la generación de residuos orgánicos, se formaron las pilas con residuos de pasto, hojas, ramas (cortados previamente con ayuda de maquina guadañadora) y cuncho de café.

Se hizo el montaje de cada tratamiento, retomando la información de la tabla 6, en las pilas 1-3 se puso el material a compostar y se realizó volteo (cada 15 días); en las pilas 4-6, estaba el material a compostar y se adecuo una tubería de PVC perforada de 4" de diámetro; las pilas de la 7-9 tenían el material a compostar y se pusieron dos mangueras perforadas de 2" de diámetro; las pilas de la 10-12 tenía el material a compostar, una tubería de PVC perforada de 4" de diámetro, se le agregaron Microorganismos Eficientes (EM) y por ultimo las pilas de la 13-15, se

formaron con el material a compostar, dos mangueras perforadas de 2" de diámetro cada una y se le añadieron Microorganismos Eficientes (EM).

Se decidió colocar una sola tubería de 4" y dos mangueras de 2" cada una, debido a que estos materiales fueron reutilizados y era con lo que se contaba en el momento y en cuanto a la diferencia de diámetros se quería probar si había alguna diferencia significativa entre ellos para el suministro adecuado de aire. En relación a los microorganismos se usaron para acelerar el proceso de descomposición.

Cada una de las 15 pilas se conformó con 240 kg de residuos mezclados homogéneamente, se establecieron el día 11 de julio de 2013 y terminaron su proceso el día 6 de noviembre de 2013 para un total de 118 días. Durante el primer mes se monitoreo a diario (lunes a viernes) la temperatura, humedad y pH, en la quinta semana y hasta la culminación del proceso se hicieron mediciones tres veces por semana, obteniendo 56 días de datos en las 17 semanas de medición. (Ver foto 29)

Foto 29. Monitoreo pilas de compostaje (°T, humedad y pH)



Fuente: propia

### 6.2.1 DOSIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)

Se aplica 5 litros de EM a 1 Tonelada de material (Durante todo el proceso)

1 Pila —————> 240, 0 kg material

240 kg = 0,24 Ton

Se aplica 1,20 L por cada pila (0,24 Ton) en todo el proceso, distribuidos en 8 tomas de 0,15 L de EM cada semana.

1 L de EM se diluye en 9 L de AGUA, así:

0,15 L de EM se mezclan en 1,35 L de Agua

Entonces:

POR CADA PILA SEMANALMENTE SE SUMINISTRARON: 0,15 L de EM (150 ml) 1,35 L de Agua (1350 ml)
---

Por lo tanto fueron aplicados 9 L de mezcla (0,9 L de EM y 8,1 L de agua) a las 6 pilas semanalmente. (Ver foto 24).

Para un total de 72 L de mezcla (7,2 L de EM y 64,8 L de agua) en las 8 primeras semanas del proceso de compostaje.

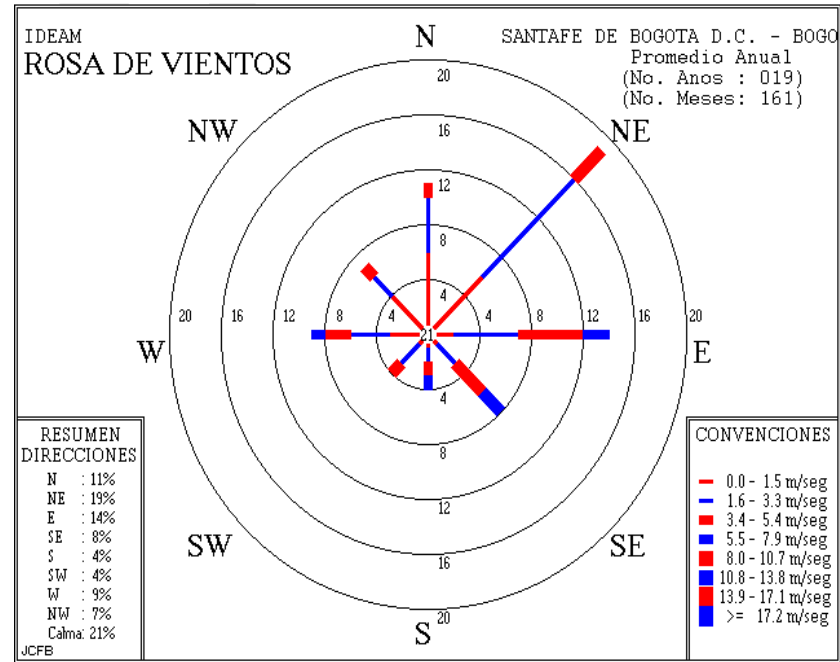
### 6.2.2 DIRECCIÓN VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA ZONA DE LA PLANTA PILOTO

Se decidió ubicar la tubería y las mangueras en esa posición debido a que necesitaba suministrar aire a las pilas ya que estas no tenían volteo manual por lo cual se necesitaba garantizar la administración de aire.

Según los datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia la dirección predominante de los vientos en Bogotá D.C es en la dirección Noreste, esto se muestra figura 15.



Figura 15. Rosa de Vientos Bogotá D.C



Fuente: Propia

Por esta razón se verifico la dirección en que se ubicaron los tubos y la manguera, esto se muestra en las fotos 30.

Foto 30. Dirección magnética de la tubería y manguera respectivamente.



Fuente: Propia.



Según la rosa de los vientos en la dirección Noreste se manejan velocidades del viento entre 13,9 y 17,1 m/s. Igualmente Benavidez<sup>91</sup>, muestra el análisis del viento en la estación del aeropuerto el dorado (del IDEAM), en donde se evidencia que durante las primeras horas del día (hasta las diez u once de la mañana) y hacia finales del día (de las siete de la noche en adelante) predominan los vientos que provienen del norte y nororiente durante todo el año. Además específicamente para la temporada en la que se hizo la investigación julio-octubre, el análisis dice que entre mayo y septiembre, después de las diez de la mañana, el viento comienza a ser más del oriente, tendiendo a ser del sur oriente durante la tarde para retornar al nororiente entre las seis y ocho de la noche (en estos meses los vientos no presentan el giro de 360 grados).

Esto permitió elegir la dirección de la tubería y la manguera entre el Nororiente y suroriente para garantizar la entrada constante de aire.

#### 6.2.2.1 ADECUACIÓN DE TUBERIA Y MANGUERA PERFORADA

Las pilas de la 10-12 fueron adecuadas cada una con un tubo perforado de PVC de 4" y 1,80 m de largo con el fin de airear la pila naturalmente, debido a que no se les harían volteos cada 15 días como a las pilas del tratamiento 1 (1-3). Ver figura 16 y foto 31.

Asimismo las pilas de la 13-15 fueron adecuadas cada una con dos mangueras perforadas de 2" y 1,80 m de largo con el fin de airear la pila naturalmente, debido a que no se les harían volteos cada 15 días como a las pilas del tratamiento 1 (1-3). Ver figura 17 y foto 32.

---

<sup>91</sup> BENAVIDES, Henry., AYALA, Leonardo. Análisis descriptivo de variables meteorológicas que influyen en la calidad del aire de los principales centros industriales del país. Noviembre, 2010.67 p.

Figura 16.Posición de la tubería tratamiento 2 y 4

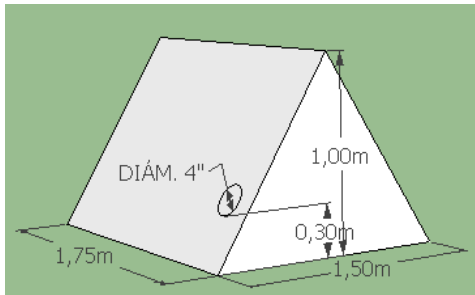
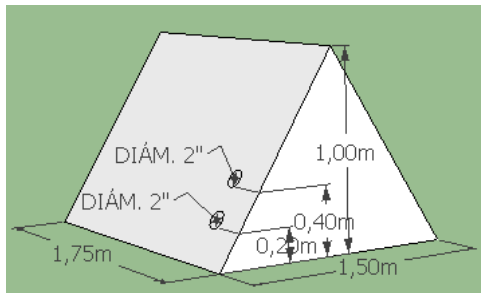


Foto 31. Posición de la tubería tratamiento 2 y 4.



Figura 17.Posición de la manguera tratamiento 3 y 5 Foto 32. Posición de la manguera tratamiento 3 y 5.



Fuente: propia



Fuente: propia

Se pusieron las tuberías y las mangueras de acuerdo a la información obtenida de la dirección predominante del viento en Bogotá con el fin de garantizar aire a las pilas, pero de acuerdo a los resultados obtenidos de la variable temperatura se puede decir que las pilas tenían demasiada entrada de aire y este factor pudo haber afectado el aumento de la temperatura, así como el tamaño de las pilas, ya que la mayoría de los autores dicen que el tamaño ideal es de 1,20 m, 20 cm por debajo de la altura que tenían las pilas. A pesar de esto, se trató de controlar mediante el cubrimiento parcial de las mismas y unión del material tratando de mantener la altura.

### 6.2.3 DETERMINACIÓN CAPACIDAD DE CAMPO EN PLANTA PILOTO

Se midió la capacidad de agua que podía retener el material en un tubo de PVC de 83 cm de largo. (Ver foto 25)

Diámetro =  $\phi$  = 10,12 cm = 4"

Masa material seco con la que se llenó el tubo= 1505,67 g

Se añadió agua a los residuos que estaban dentro de la tubería hasta punto de saturación de los mismos, posteriormente se pesó el material más la cantidad de agua que fue agregada (1 L).

Masa material + 1 litro de agua añadido = 2505,63 g

Entonces:

Masa de agua retenida por los residuos = 2505,63 g – 1505,67 g = 999,96 g

1505,67 g de residuos pueden retener 1 L de agua  
Es decir: Cada 1000 g o 1 kg de residuos retienen 0,664 L de agua

#### 6.2.4 RIEGO PARA GARANTIZAR HUMEDAD

Con el fin de garantizar la menor producción de lixiviados orgánicos, se establece:

1 PILA CONTIENE 240 kg

15 PILAS = 3600 kg

Volumen de agua que puede retener 3600 kg de residuos = (0,664 L \* 3600 kg) = 2390,4 L

Por lo tanto se debe suministrar menos de este volumen de agua para garantizar una mínima o ninguna generación de lixiviados orgánicos.

Según el siguiente balance de masa planteado por Worrell<sup>92</sup> se puede garantizar el correcto contenido de humedad.

$$M_p = \frac{M_a X_a + 0,416 W_s}{X_a + 0,00416 W_s}$$

$M_p$  = Humedad de residuos a alcanzar como % de humedad

$M_a$  = Humedad de los residuos sólidos como % de humedad

$X_a$  = Masa de los residuos sólidos o peso en Toneladas

---

<sup>92</sup> WORRELL, William and VESILIND, P.Arne. Solid Waste Engineering. Second Edition. United States of America: CENGAGE Learning, 2012, 2002. 427p.

$W_s$  = Agua que debe ser añadida en galones.

Se midió la humedad de los residuos inicialmente y se determinó que es del 15%, según las condiciones ideales para el compostaje mencionadas en el marco teórico (ver tabla 2), es necesario aumentar la humedad al menos hasta el 40%. Por lo tanto con el balance de masa planteado anteriormente se calcula la cantidad de agua  $W_s$  que será necesario añadir:

$$M_p = 40 = \frac{(15 \cdot 3,6 \text{ Ton}) + 0,416 W_s}{3,6 \text{ Ton} + 0,00416 W_s}$$

Entonces  $W_s = 360,58$  galones

1 galón = 3,785 L

$W_s = 1364,80$  L

La manguera que se instaló en la planta piloto conduce el agua hasta las pilas con un caudal de 0,22 L/s. Por lo tanto, el tiempo que deberán regarse para alcanzar una humedad del 40 %:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{1364,80 \text{ L}}{0,22 \text{ L/s}} = 6203,64 \text{ s} = 103,39 \text{ min}$$

Que será distribuido en las 15 pilas, cada una necesita ser regada con agua por 6,89 min valor aproximado a **7 min**, con el fin de alcanzar el mínimo valor para estar entre el rango de las condiciones ideales del compostaje.

Asimismo se utilizaba este balance para garantizar la humedad en las pilas a lo largo del proceso, cada vez determinando la humedad de los residuos y posteriormente regándolos con agua y el lixiviado generado que siempre fue recirculado.

### 6.2.5 VOLUMEN DE LIXIVIADO PRODUCIDO DURANTE EL PROCESO EN PLANTA PILOTO

Para determinar el volumen de lixiviado que se generaría por los 3600 kg de residuos dispuestos, fue necesario conocer la humedad promedio que tuvieron todos los residuos a lo largo del proceso, este valor fue de 48,61 % de humedad.

Así, teóricamente se halló el volumen usando lo establecido en el libro Integrated Solid Waste Management de Tchobanoglous Theisen Vigil:

$M_r$  = Masa de residuos en kg

$M_H$  = Masa húmeda de residuos

H = porcentaje de humedad de los residuos

$M_{rs}$  = Masa de residuo sólido seco en kg

$M_{THC}$  = Total de humedad en la celda en kg

$M_i$  = Infiltración (en este caso es 0 por que el área es cubierta)

FC = Capacidad de campo (se halló experimentalmente)

$M_{Arr}$  = Masa de agua retenida por los residuos en kg

Lix = Lixiviado en kg

$V_{Lix}$  = Volumen de lixiviado en (L) generado durante el proceso

d lix = Densidad del lixiviado en kg/L = 1,1 kg/L

$$(1) M_H = M_r * \% H$$

$$(2) M_{rs} = M_r - M_H$$

$$(3) M_{THC} = M_H + M_i$$

$$(4) FC = 66,4 \% = 0,664$$

$$(5) M_{Arr} = FC * M_{rs}$$

$$(6) Lix = M_{THC} - M_{Arr}$$

$$(7) V_{Lix} = Lix / d Lix$$

$$(1) M_H = M_r * \% H$$

$$M_H = 3600 \text{ kg} * 0,4861 = 1749,96 \text{ kg}$$

$$(2) M_{rs} = 3600 \text{ kg} - 1749,96 \text{ kg} = 1850,04 \text{ kg}$$

$$(3) M_{THC} = 1749,96 \text{ kg} + 0 = 1749,96 \text{ kg}$$

$$(5) M_{Arr} = 0,664 * 1850,04 \text{ kg} = 1228,43 \text{ kg}$$

$$(6) L_{ix} = 1749,96 \text{ kg} - 1228,43 \text{ kg} = 521,53 \text{ kg}$$

$$(7) V_{Lix} = 521,53 \text{ kg} / 1,1 \text{ kg/L} = 474,12 \text{ L}$$

El volumen total de lixiviado que se produce a lo largo del proceso es de 474,12 L. Igualmente se determinó el volumen experimentalmente calculando un valor de 30 L de lixiviado semanalmente a lo largo de 15 semanas para un volumen total de 450 L de lixiviado, valor aproximado al dato hallado teóricamente.

Por lo cual se adopta la cifra experimental de **450 L** de lixiviado por 3600 kg de residuos en 15 semanas de tratamiento, debido a que en los últimos días no hubo generación (aproximadamente los últimos trece días) y esta será la cantidad de lixiviado que debe ser manejado durante el proceso de degradación de la materia orgánica.

#### 6.2.6 MONITOREO DE PARAMETROS EN PLANTA PILOTO

A lo largo de los 118 días que tardó el proceso de compostaje se monitoreó la temperatura, la humedad y el pH. Inicialmente se evaluó el primer mes día a día de lunes a viernes (semana 1 – 4), a partir de la quinta semana hasta el final se hizo tres veces por semana para un total de 56 días de datos. Para medir la temperatura se usó un termómetro punzón en acero inoxidable de 18'' con escalas de temperatura en grados Celsius (°C) y Fahrenheit (°F); para la humedad se usó un aparato con doble punzón en acero inoxidable para medir humedad en residuos verdes y suelo con una escala entre 0 y 100% de humedad; finalmente para el pH se usó un potenciómetro digital HANNA además del equipo que además de medir la humedad permitía determinar el pH para así corroborar la información obtenida.

En cuanto a la variable temperatura, es importante establecer las temperaturas máximas que se alcanzaron durante el compostaje debido a que esta variable nos permite garantizar que los microorganismos patógenos murieron. Estos valores representan los picos máximos mostrados en las gráficas de cada tratamiento. Se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Valores máximos de temperatura alcanzados.

TRATAMIENTO	DIAS	MAXIMA TEMPERATURA °C
1	5--7	36
2	6--8	50
3	7--9	43
4	6--9	50
5	6--9	52

Fuente: Propia

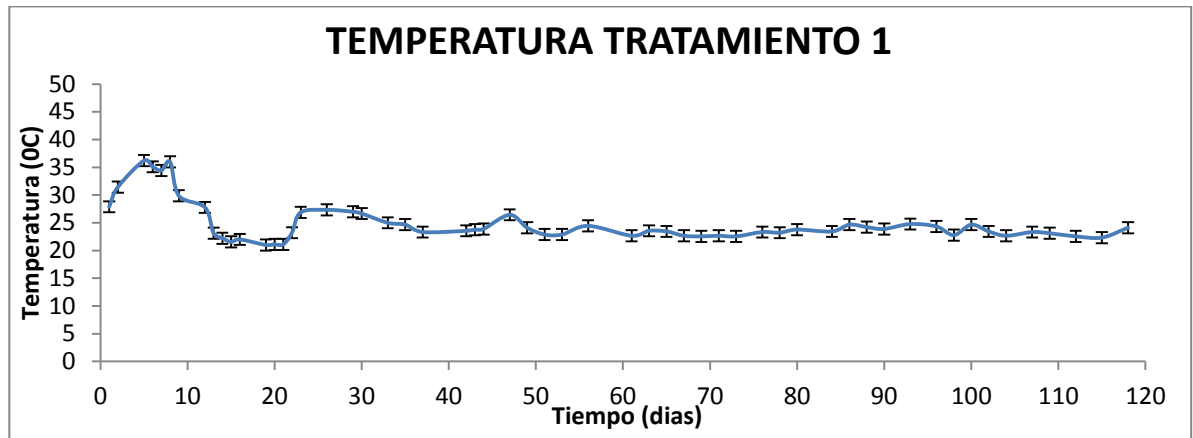
A continuación se muestra el comportamiento de las tres variables a los largo del tiempo en cada uno de los tratamientos.

#### 6.2.6.1 TRATAMIENTO UNO

Como ya se había mostrado en la metodología, este tratamiento cumplía la función de un blanco el cual estaba sometido a un modelo de compostaje convencional, este tenía los residuos a tratar y se le realizaba volteo manual cada quince días.

- TEMPERATURA: su evolución se muestra en la gráfica 3.

Gráfica 3. Evolución de la temperatura en el tratamiento 1.



Fuente: Propia

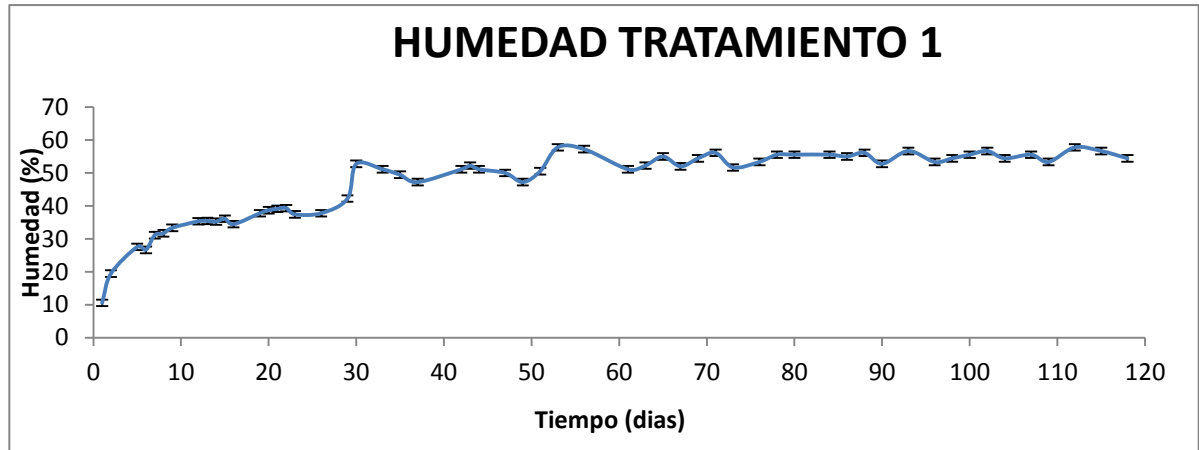
En la gráfica 3 se muestran los promedios de temperatura a lo largo del tiempo, se evidencia un aumento de la temperatura en las primeras dos semanas, luego una baja y posteriormente una recuperación de la misma aunque no muy notable, lo cual indicaría la fase de descomposición, esta subida pudo haberse generado debido al volteo que se hizo en el día 20 del proceso, lo cual aparentemente reactivaría el proceso de descomposición. Luego se alcanzó la estabilización que evidencia la fase de maduración aproximadamente en el día 63 correspondiente a la semana 9.

Asimismo como se muestra en la tabla 14, este fue el tratamiento que alcanzo el menor valor de temperatura correspondiente a 36 °C entre los días 5 y 7 del proceso. Por lo tanto este tratamiento no es muy eficiente debido a que es necesario alcanzar mayores niveles de temperatura para garantizar la higienización del compost.



- HUMEDAD: Su evolución se muestra en la gráfica 4.

Gráfica 4. Evolución de la humedad en el tratamiento 1.



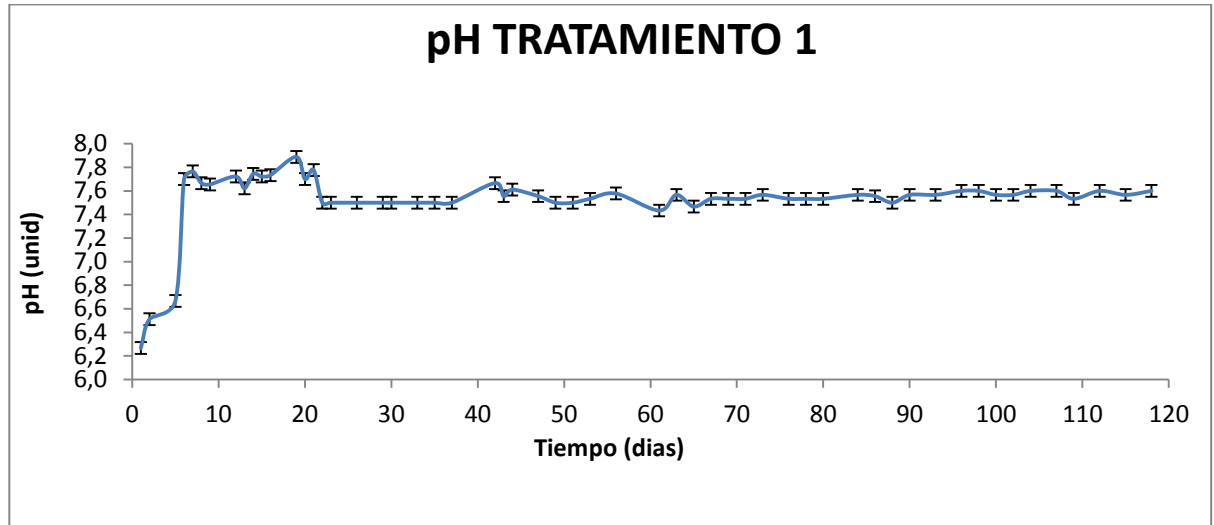
Fuente: Propia

En la gráfica 4 se muestran los promedios de humedad a lo largo del tiempo, como los afirman los diferentes autores citados en el marco teórico y en especial la tabla 2, la humedad debe estar entre 40% y 65% siendo un rango aceptable, en la gráfica se ve que solo hasta el día 29 del proceso se alcanza un valor superior a 40%, posteriormente la humedad aumenta no sin exceder el valor de 60% debido a que se controló por medio del riego con el fin de garantizar las condiciones óptimas que necesita el proceso de compostaje. Finalmente se estabiliza aproximadamente en el día 61 semana 9 en donde se reduce la humedad y se mantiene hasta el día final.

Esta variable se debe garantizar con el fin de mantener las condiciones óptimas del compost, así de acuerdo a los resultados solo hasta el día 29 se alcanzó el valor mínimo del rango de humedad a garantizar, lo cual quiere decir que este tratamiento tardó demasiado en alcanzar el valor de 40%, ya que el objetivo es alcanzar el valor óptimo en el menor tiempo posible, con el fin de garantizar las condiciones apropiadas para el desarrollo del compost.

- pH: Su evolución se muestra en la gráfica 5.

Gráfica 5. Evolución del pH en el tratamiento 1.



Fuente: Propia

En la gráfica 5 se muestran los promedios de pH a lo largo del tiempo, según los autores citados en el marco teórico y en la tabla 2, los valores aceptables de pH oscilan entre 5,5 y 9,0 los cuales están acorde con los datos obtenidos que fluctúan entre 6,20 y 7,88. Como se ve en la gráfica 10 se identifica una fase inicial ácida que aumenta hasta ser básica que después disminuye en algunos puntos hasta mantener un nivel con pocos cambios desde el día 65 semana 10.

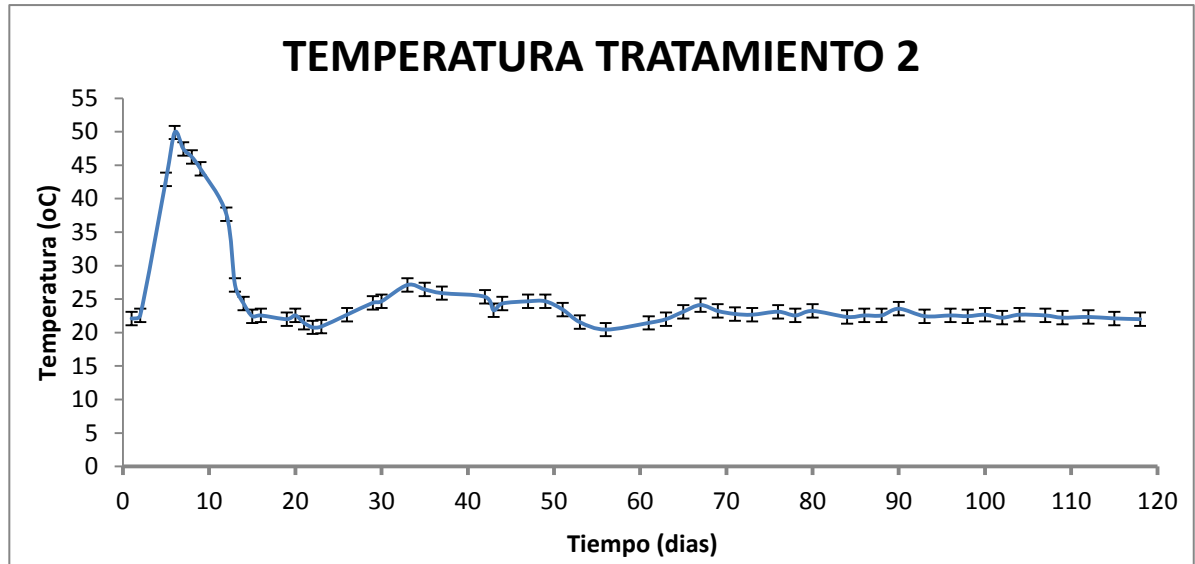
Como se muestra en la figura 8 el comportamiento que se mostro es similar al ideal, primero se muestra una fase ácida, luego básica y una bajada hasta la estabilización del compost.

#### 6.2.6.2 TRATAMIENTO DOS

Como ya se había mostrado en la metodología, este tratamiento tenía los residuos a tratar y aireación natural inducida por una tubería de PVC de 1,80 m de largo perforada de 4" de diámetro.

- TEMPERATURA: Su evolución se muestra en la gráfica 6.

Gráfica 6. Evolución de la temperatura en el tratamiento 2.



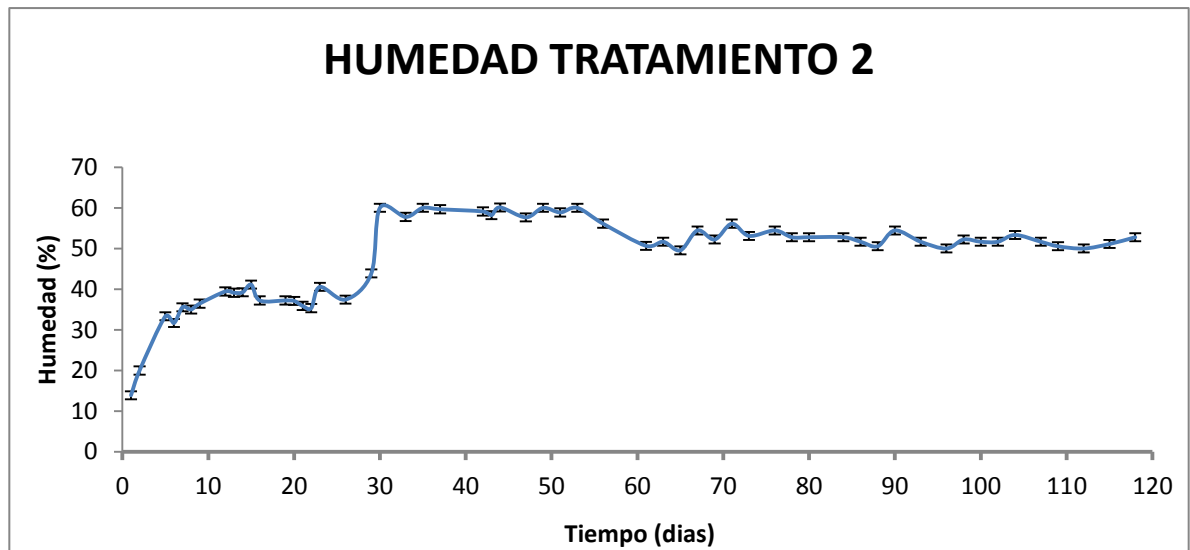
Fuente: Propia

En la gráfica 6 se muestran los promedios de temperatura a lo largo del tiempo, se evidencia un aumento en las primeras dos semanas, luego una disminución y posteriormente un intento de recuperación no muy grande entre el día 29 y 56. Esta sección indicaría la fase de descomposición. Seguidamente se alcanzó la estabilización que evidencia la fase de maduración aproximadamente en el día 61 correspondiente a la semana 9.

Igualmente como se muestra en la tabla 14, este fue el tratamiento que alcanzó un valor de temperatura correspondiente a 50 °C entre los días 6 y 8 del proceso, por lo cual esta fue la segunda temperatura más alta. Por lo tanto este tratamiento es más eficiente debido a que se alcanzaron niveles más altos de temperatura como se establece en las condiciones óptimas de la gráfica 3 o de la tabla 2, sin embargo el objetivo es alcanzar mayores niveles de temperatura para garantizar la higienización del compost.

- HUMEDAD: Su evolución se muestra en la gráfica 7.

Gráfica 7. Evolución de la humedad en el tratamiento 2.



Fuente: Propia

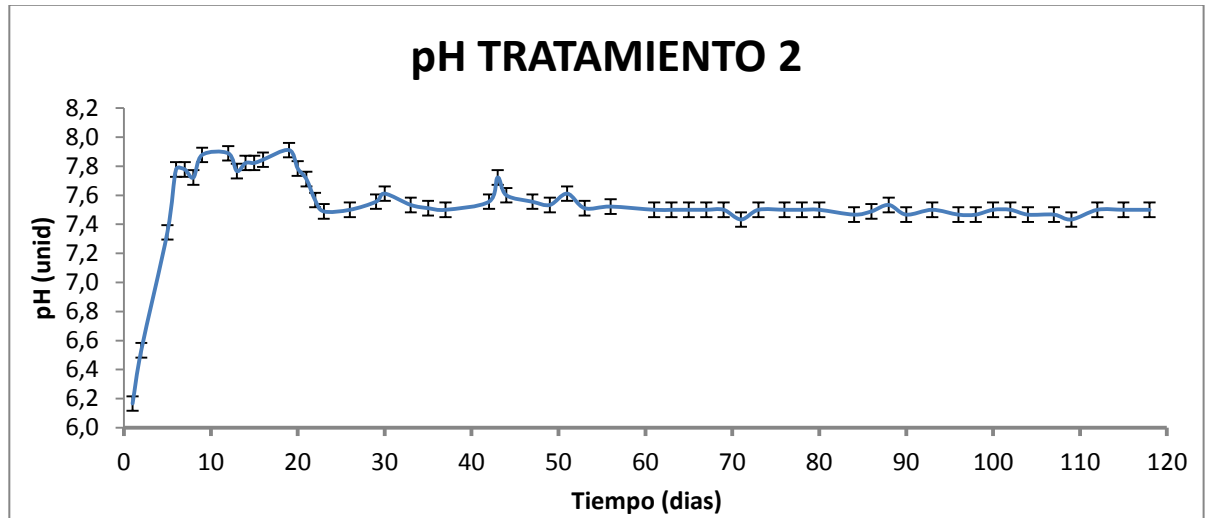
En la gráfica 7 se muestran los promedios de humedad a lo largo del tiempo, según la tabla 2, la humedad debe estar entre 40% y 65% siendo un rango aceptable, en la gráfica se ve que en el día 23 se alcanzó una humedad del 40% pero volvió a bajar y solo hasta el día 29 del proceso no vuelve a disminuir el valor de 40%, posteriormente la humedad aumenta hasta el valor de 60% debido a que se controló por medio del riego con el fin de garantizar las condiciones óptimas que necesita el proceso de compostaje. Finalmente se estabiliza aproximadamente en el día 61 semana 9 en donde la humedad disminuyó y se mantuvo casi constante hasta el día final.

Esta variable se debe garantizar con el fin de mantener las condiciones óptimas del compost, así de acuerdo a los resultados al igual que en el tratamiento 1 solo hasta el día 29 se alcanzó el valor mínimo del rango de humedad a garantizar, lo cual quiere decir que este tratamiento tardó demasiado en alcanzar el valor de

40%, ya que el objetivo es alcanzar el valor óptimo en el menor tiempo posible, con el fin de garantizar las condiciones apropiadas para el desarrollo del compost.

- pH: Su evolución se muestra en la gráfica 8.

Gráfica 8. Evolución del pH en el tratamiento 2.



Fuente: Propia

En la gráfica 8 se muestran los promedios de pH a lo largo del tiempo, según la tabla 2, los valores aceptables de pH oscilan entre 5,5 y 9,0 los cuales están acorde con los datos obtenidos que fluctúan entre 6,16 y 7,91. Como se ve en la gráfica se identifica una fase inicial ácida que inicia desde el día 1 y termina en el día 5 en donde el pH se vuelve básico, después del día 21 empieza a reducir aproximadamente hasta 7,4 y desde este punto se mantiene, aunque es menor la variación desde el día 61 semana 9.

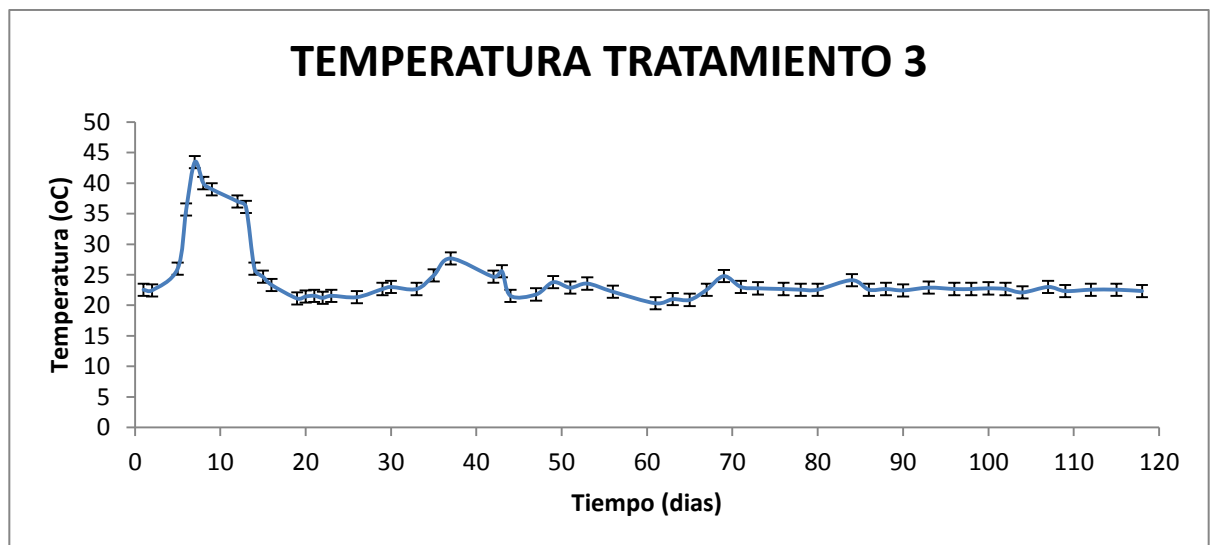
De acuerdo con estos resultados se ve un comportamiento similar que en el tratamiento 1, aunque se logró una menor variación aproximadamente una semana antes, lo cual muestra una mejora en este tratamiento.

### 6.2.6.3 TRATAMIENTO TRES

Como ya se había mostrado en la metodología, este tratamiento tenía los residuos a compostar además de aireación natural inducida por 2 mangueras perforadas de 2" de diámetro y 1,80 m de largo cada una.

- TEMPERATURA: Su evolución se muestra en la gráfica 9.

Gráfica 9. Evolución de la temperatura en el tratamiento 3.



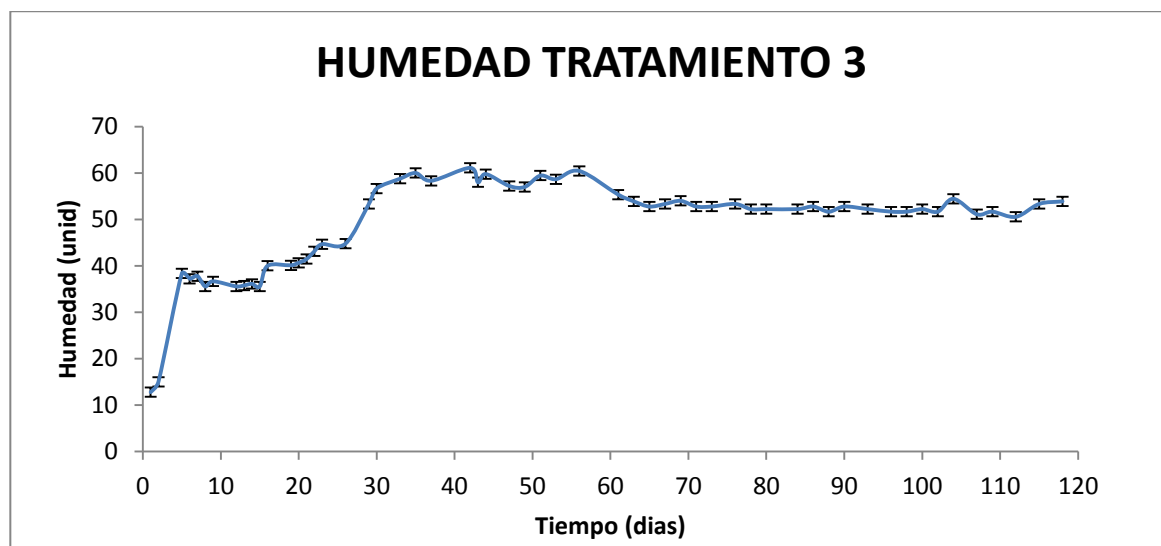
Fuente: Propia

En la gráfica 9 se muestran los promedios de temperatura a lo largo del tiempo, se evidencia un aumento de la temperatura a partir del día 5 del proceso hasta aproximadamente el día 12, equivalente a las primeras dos semanas, luego una disminución que se mantiene hasta el día 33 y posteriormente un aumento de 4 grados Celsius entre el día 35 y 43, luego una caída y otro aumento muy leve de temperatura hasta el día 63. Esta sección indicaría la fase de descomposición. Después se alcanzó la estabilización que evidencia la fase de maduración aproximadamente en el día 71 correspondiente a la semana 11.

Igualmente como se muestra en la tabla 14, este tratamiento alcanzó un valor de temperatura correspondiente a 43 °C entre los días 7 y 9 del proceso. Por lo tanto en este tratamiento la temperatura alcanzada es más baja que la alcanzada en el tratamiento 2, por lo cual no se puede garantizar un compost muy maduro o estabilizado según la figura 8.

- HUMEDAD: Su evolución se muestra en la gráfica 10.

Gráfica 10. Evolución de la humedad en el tratamiento 3.



Fuente: Propia

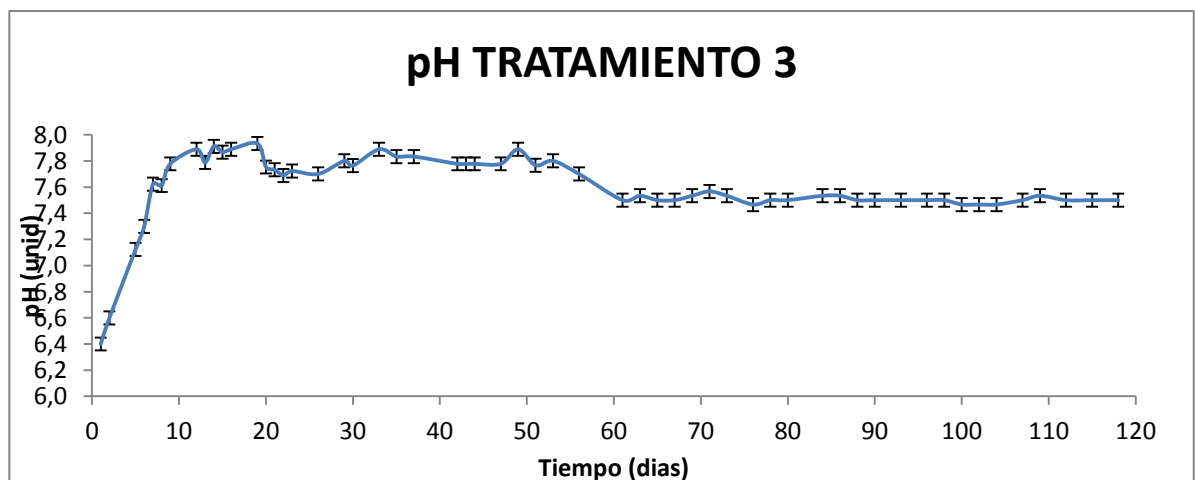
En la gráfica 10 se muestran los promedios de humedad a lo largo del tiempo, según la tabla 2, la humedad debe estar entre 40% y 65% siendo un rango aceptable, en la gráfica se ve que en el día 16 se alcanzó una humedad del 40%, continuo aumentando debido a que la humedad se controló por medio del riego con el fin de garantizar las condiciones óptimas que necesita el proceso de compostaje, alcanzó su pico máximo en el día 42 con 61,11 %, persistió oscilando hasta aproximadamente el día 63. Finalmente se estabiliza aproximadamente en el día 65 semana 10 en donde la humedad disminuyó y se mantuvo casi constante

hasta el día final cumpliendo con el rango óptimo de humedad necesaria para el proceso.

Esta variable permite garantizar las condiciones del proceso de descomposición de los residuos orgánicos usados en el proceso de compostaje, de acuerdo con esto se puede observar que la estabilización se dio hasta el día 65 semana 10, una semana después que lo obtenido en el tratamiento 2, por lo cual este modelo no es la mejor opción, en cuanto a lo que respecta a la variable humedad.

- pH: Su evolución se muestra en la gráfica 11.

Gráfica 11. Evolución del pH en el tratamiento 3.



Fuente: Propia

En la gráfica 11 se muestran los promedios de pH a lo largo del tiempo, según la tabla 2, los valores aceptables de pH oscilan entre 5,5 y 9,0 los cuales están acorde con los datos obtenidos que fluctúan entre 6,40 y 7,93. Como se ve en la gráfica se identifica una fase inicial acida que inicia desde el día 1 y termina en el día 5 en donde el pH se vuelve básico. Después del día 19 empieza a reducir aproximadamente hasta 7,6, para luego aumentar de nuevo, oscilando entre



valores cercanos. Seguidamente se reduce hasta 7,5 desde el día 61 semana 9 manteniéndose hasta el final del proceso.

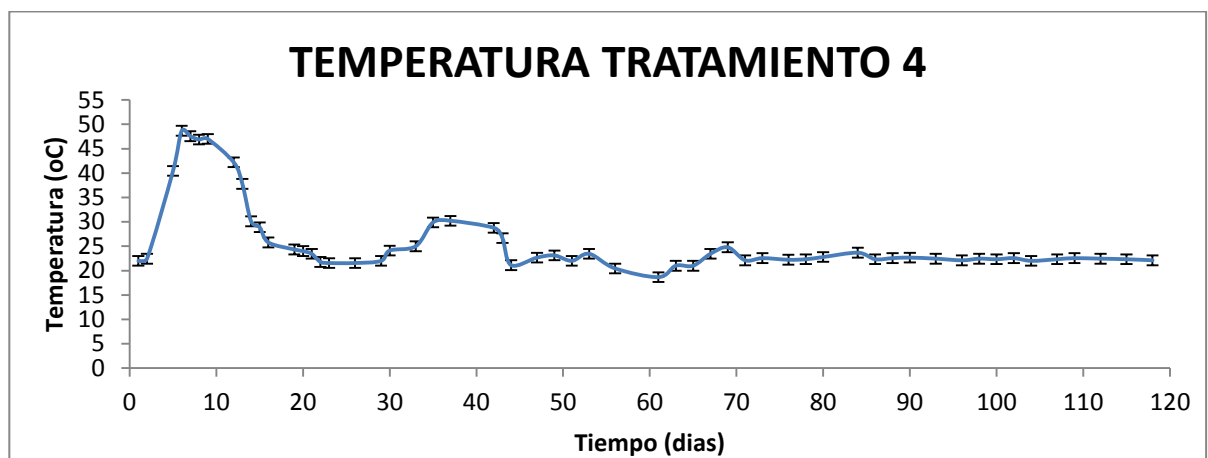
Según la figura 8 el comportamiento del pH tiene tres fases que se identifican en la gráfica 11, cabe resaltar que la fase básica en la que alcanza mayor nivel de pH tarda más tiempo que en los tratamientos 1 y 2, debido a que el pH disminuye hasta el día 61, mientras en los dos primeros aproximadamente en el día 22 disminuye y los cambios son mínimos, lo cual muestra que el inicio de la fase mesofílica es decir la etapa de maduración del compost demora más tiempo en empezar.

#### 6.2.6.4 TRATAMIENTO CUATRO

Como ya se había mostrado en la metodología, este tratamiento tenía los residuos a tratar además de aireación natural inducida por 1 tubería PVC perforada de 4" de diámetro y 1,80 m de largo y se adiciono microorganismos eficientes (EM) semanalmente por un lapso de ocho semanas; también se le adicionado 0,2 kg de melaza (0,1% de los residuos usados en peso) a cada pila al finalizar el mes 1 con el fin de reactivar la degradación.

- TEMPERATURA: Su evolución se muestra en la gráfica 12.

Gráfica 12. Evolución de la temperatura en el tratamiento 4.



Fuente: Propia

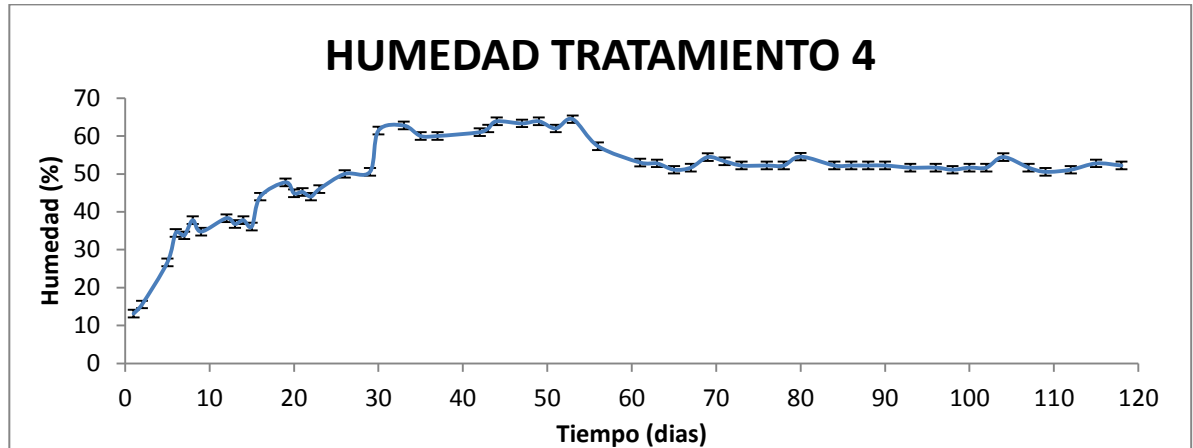
En la gráfica 12 se muestran los promedios de temperatura a lo largo del tiempo, se evidencia un aumento de la temperatura a partir del día 5 del proceso hasta aproximadamente el día 12, lo que equivalente a las dos primeras semanas, luego se presenta una disminución que se mantiene hasta el día 30, debido a que posteriormente se presenta un aumento de la temperatura observándose su pico en el día 35 y 37, esto pudo haberse debido a la adición de melaza con el fin de reactivar la degradación, después empieza a descender, aunque se presentan intentos por volver a aumentar la temperatura. Esta parte representaría la fase de descomposición. Logrando al final la estabilización que evidencia la fase de maduración aproximadamente en el día 71 correspondiente a la semana 11.

Asimismo como se muestra en la tabla 14, este tratamiento alcanzó un valor de temperatura correspondiente a 50 °C entre los días 6 y 9 del proceso, siendo este valor el más alto alcanzado en dos de los tratamientos. Esto es evidentemente causado por la aplicación de los microorganismos eficientes (EM), debido a que a los otros tres tratamientos no se les adicionó EM, además cabe resaltar el papel de la melaza, factor fundamental que participo en la reactivación del proceso de degradación de los residuos, ésta fue adicionada en campo con el fin de reavivar el proceso para elevar la temperatura. Igualmente se evidencia según la gráfica 12 que aproximadamente en el día 56 se terminó la adición del EM y desde este momento no se ven cambios notables en la temperatura durante el proceso.

También es importante mencionar que debido al clima de Bogotá y probablemente a la posición en la que se ubicó la tubería suministrando la mayor cantidad de aire posible de acuerdo a la dirección predominante de los vientos que hay en Bogotá, la temperatura disminuyo rápidamente después de la segunda semana del proceso.

- HUMEDAD: Su evolución se muestra en la gráfica 13.

Gráfica 13. Evolución de la humedad en el tratamiento 4.



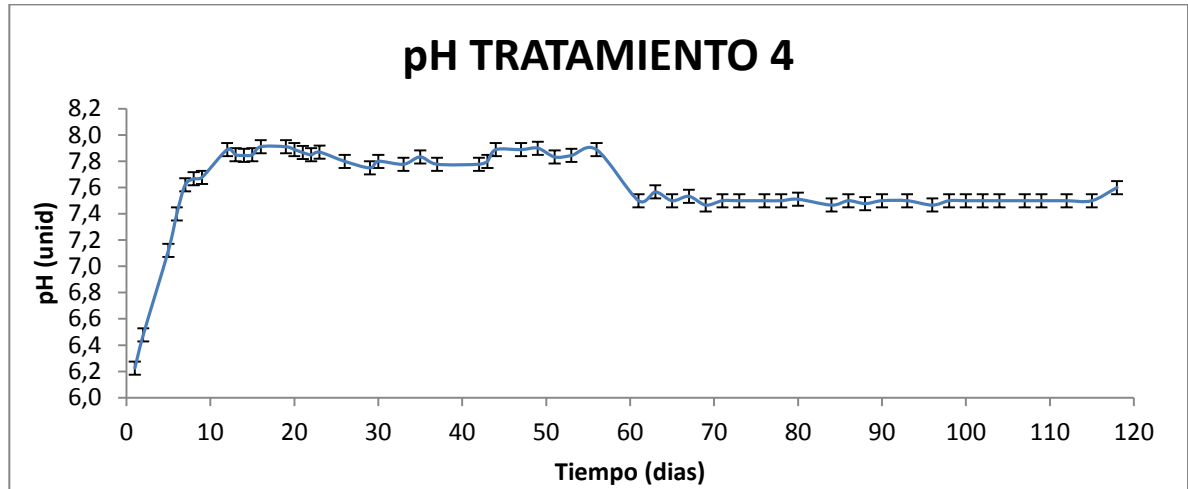
Fuente: Propia

En la gráfica 13 se muestran los promedios de humedad a lo largo del tiempo, según la tabla 2, la humedad debe estar entre 40% y 65% siendo un rango aceptable, en la gráfica se ve que en el día 16 se alcanzó una humedad del 40%, continuo aumentando debido a que la humedad se controló por medio del riego con el fin de garantizar las condiciones óptimas que necesita el proceso de compostaje, alcanzó su pico máximo en el día 53 con 64,44%, para luego descender hasta finalmente estabilizarse aproximadamente en el día 61 semana 9, presentándose unos cambios aunque no muy significativos hasta el día final del proceso, pero siempre cumpliendo con el rango óptimo de humedad necesaria.

Esta variable no da muchas respuestas debido a que es un parámetro que se debe controlar y que está a dominio del investigador, aun así según la gráfica 18 se muestra la estabilización de la misma en el tiempo, además del día en el que se alcanzó el rango de las condiciones óptimas en el día 16, valor inferior a los días del tratamiento 1 y 2. Por lo cual este tratamiento muestra que puede ser una buena elección.

- pH: Su evolución se muestra en la gráfica 14.

Gráfica 14. Evolución de la humedad en el tratamiento 4.



Fuente: Propia

En la gráfica 14 se muestran los promedios de pH a lo largo del tiempo, según la tabla 2, los valores aceptables de pH oscilan entre 5,5 y 9,0 los cuales están acorde con los datos obtenidos que fluctúan entre 6,23 y 7,91. Como se ve en la gráfica se identifica una fase inicial ácida que inicia desde el día 1 y termina en el día 5 en donde el pH supera la condición de neutro y se vuelve básico, después a partir del día 12 hasta el día 56, los valores fluctúan con pequeños descensos, para luego disminuir 0,38 unidades hacia el día 61 semana 9, manteniéndose así hasta la culminación del proceso.

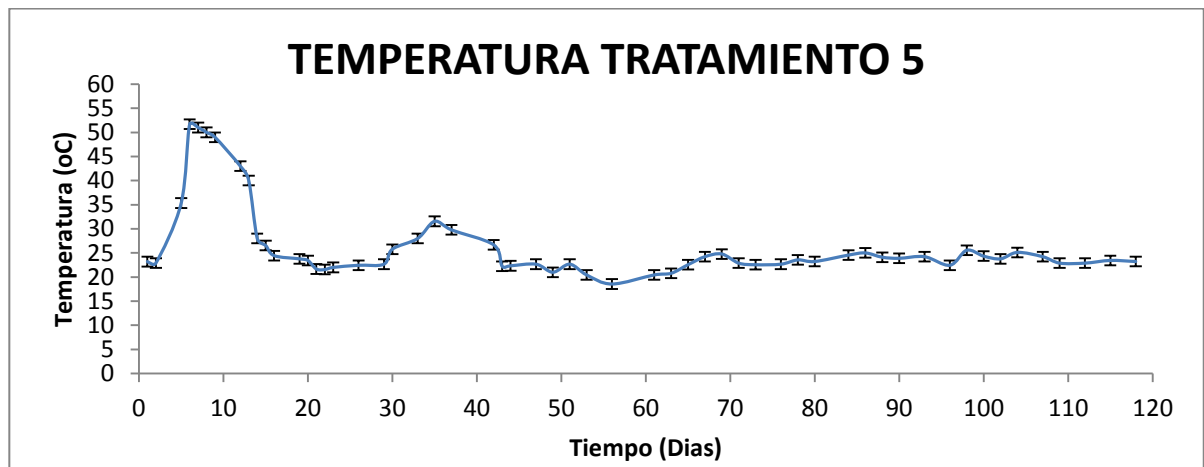
De acuerdo a los valores obtenidos en la gráfica 14 del comportamiento de este tratamiento a lo largo del tiempo se evidencia que la estabilización del pH se logra aproximadamente en el día 61, esto significa que hubo mayor respuesta en cuanto a esta variable en comparación a los tratamientos 1 y 2, que presentaron pocos cambios lo cual evidencia la escasa actividad de los microorganismos presentes.

#### 6.2.6.5 TRATAMIENTO CINCO

Como ya se había mostrado en la metodología, este tratamiento tenía los residuos que se someterían a compostaje también contaba con aireación natural inducida por 2 mangueras perforadas 2" de diámetro y 1,80 m de largo y también se adiciono microorganismos eficientes (EM) semanalmente por un lapso de ocho semanas; también se le adicionado 0,2 kg de melaza (0,1% de los residuos usados en peso) a cada pila al finalizar el mes 1 con el fin de reactivar la degradación.

- TEMPERATURA: Su evolución se muestra en la gráfica 15.

Gráfica 15. Evolución de la temperatura en el tratamiento 5.



Fuente: Propia.

En la gráfica 15 se muestran los promedios de temperatura a lo largo del tiempo, se evidencia un aumento de la temperatura a partir del día 5 del proceso hasta aproximadamente el día 13 en donde empieza a descender, este periodo equivale a las dos primeras semanas, esta baja se mantiene hasta el día 29, luego se evidencia un aumento que alcanza su pico máximo en el día 35 (aumentando 9 grados Celsius), esto pudo haberse debido a la adición de melaza con el fin de reactivar la degradación, posteriormente se reduce esta sección indicaría la fase

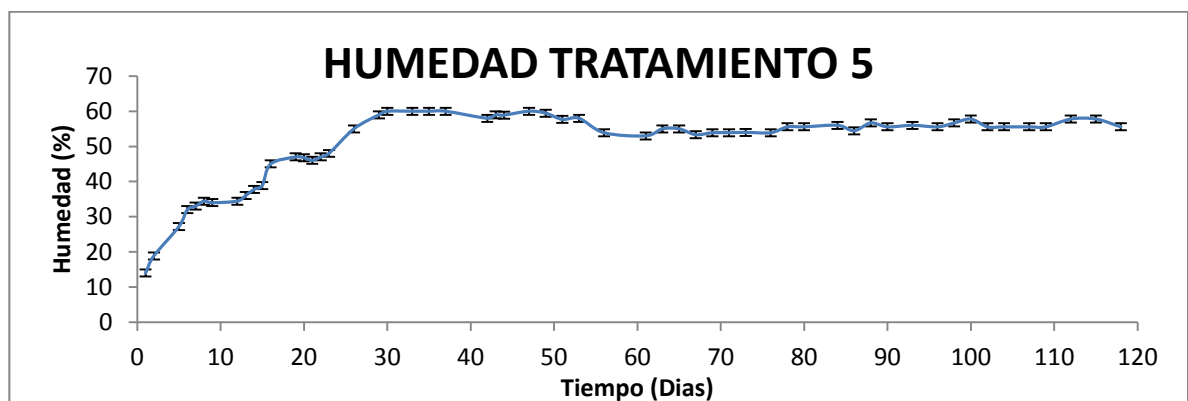
de descomposición, entonces se comienza a mostrar un comportamiento más uniforme hacia el día 69 semana 10 en donde se alcanza la estabilización que evidencia la fase de maduración.

Igualmente como se muestra en la tabla 14, este tratamiento alcanzó un valor de temperatura correspondiente a 52 °C entre los días 6 y 9 del proceso. En este tratamiento al igual que en el 4, se alcanzan los mayores niveles de temperatura, esto es evidentemente causado por la aplicación de los microorganismos eficientes (EM), debido a que a los otros tres tratamientos no se les adicionó EM.

Aunque esta desciende totalmente en la semana 2 del proceso, lo cual puede ser causado debido a la aireación suministrada por las mangueras ubicadas según la dirección predominante de los vientos. Igual que en el tratamiento 4 se presenta una subida de temperatura hacia el día 30, esta es mayor que en el tratamiento 4, ya que es de 9 grados Celsius en su pico, además al tardar más tiempo en estabilizarse demuestra que la descomposición dura más tiempo por lo tanto se obtendrá un compost libre de microorganismos patógenos.

- HUMEDAD: Su evolución se muestra en la gráfica 16.

Gráfica 16. Evolución de la humedad en el tratamiento 5



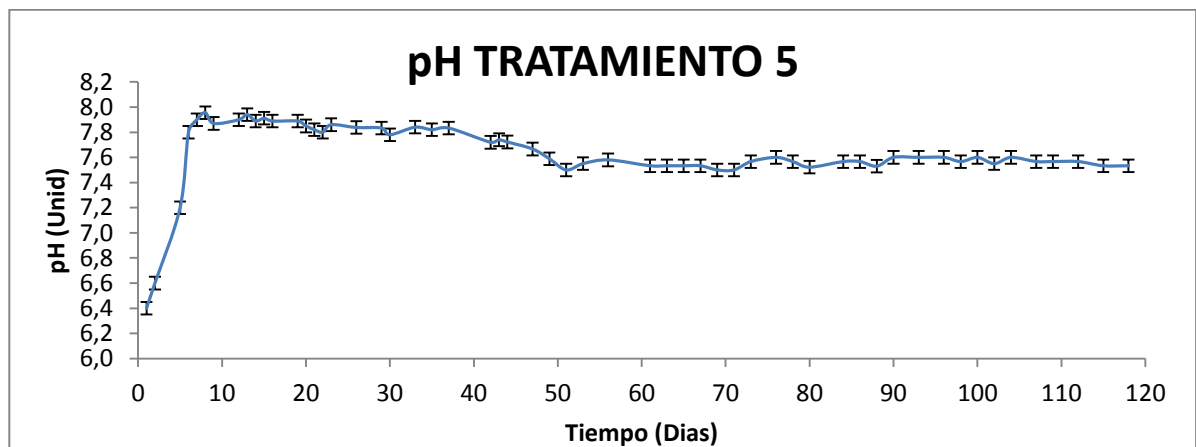
Fuente: Propia

En la gráfica 16 se muestran los promedios de humedad a lo largo del tiempo, según la tabla 2, la humedad debe estar entre 40% y 65% siendo un rango aceptable, en la gráfica se ve que en el día 16 se superó el valor de 40% para entrar entre el rango aceptable, continuo aumentando debido a que la humedad se controló por medio del riego con el fin de garantizar las condiciones óptimas que necesita el proceso de compostaje, alcanzó su pico máximo en el día 30 con 60%, continuo variando no muy notablemente hasta aproximadamente el día 53. Finalmente se estabiliza aproximadamente en el día 56 semana 8 en donde la humedad disminuyo y se mantuvo casi constante hasta el día final cumpliendo con el rango óptimo de humedad necesaria para el proceso.

Esta variable es un parámetro a garantizar durante el proceso debido a que el investigador debe manipularla para alcanzar las condiciones óptimas del compost, en este tratamiento al igual que en el 4, se alcanza el rango óptimo de humedad en el día 16, lo cual quiere decir que fueron en los que mejor se controló la humedad ya que en los otros tratamientos se tardó más tiempo para llegar a este valor, por lo cual este modelo de compostaje fácilmente podría ser el mejor debido al comportamiento obtenido.

- pH: Su evolución se muestra en la gráfica 17.

Gráfica 17. Evolución de la temperatura en el tratamiento 5



Fuente: Propia

En la gráfica 17 se muestran los promedios de pH a lo largo del tiempo, según la tabla 2, los valores aceptables de pH oscilan entre 5,5 y 9,0 los cuales están acorde con los datos obtenidos que fluctúan entre 6,4 y 7,95. Como se ve en la gráfica se identifica una fase inicial ácida que inicia desde el día 1 hasta y termina en el día 5 en donde el pH supera el valor neutro y se vuelve básico, así continua aumentando presenta oscilaciones aunque no muy significativas, después del día 37 empieza a reducirse notablemente aproximadamente hasta 7,5 en el día 51 semana 8 y desde este punto se mantiene fluctuando con menor variación hasta el final del proceso.

De acuerdo con la figura 8, este comportamiento de pH tiene las tres mismas fases que se plantean allí, hay una fase ácida al inicio del proceso, posteriormente una fase básica y luego un descenso en el que se estabiliza o permanece casi invariable el pH, esto muestra que este tratamiento al tardar más tiempo antes de la estabilización refleja la fase de descomposición que viene entrelazada con la de la temperatura debido a que con estas dos variables (temperatura y pH) se evidenciaría conjuntamente esta fase del proceso de compostaje.

#### 6.2.6.6 ANALISIS ESTADISTICO ANOVA DE LOS PUNTOS CLAVES EN SAS 9.2

Con el programa SAS 9.2 podemos comprobar la hipótesis del diseño estadístico que hablaba de si había o no diferencias entre los tratamientos se hizo mediante el análisis lineal GLM (ANOVA) que comprobara los supuestos planteados en la metodología.

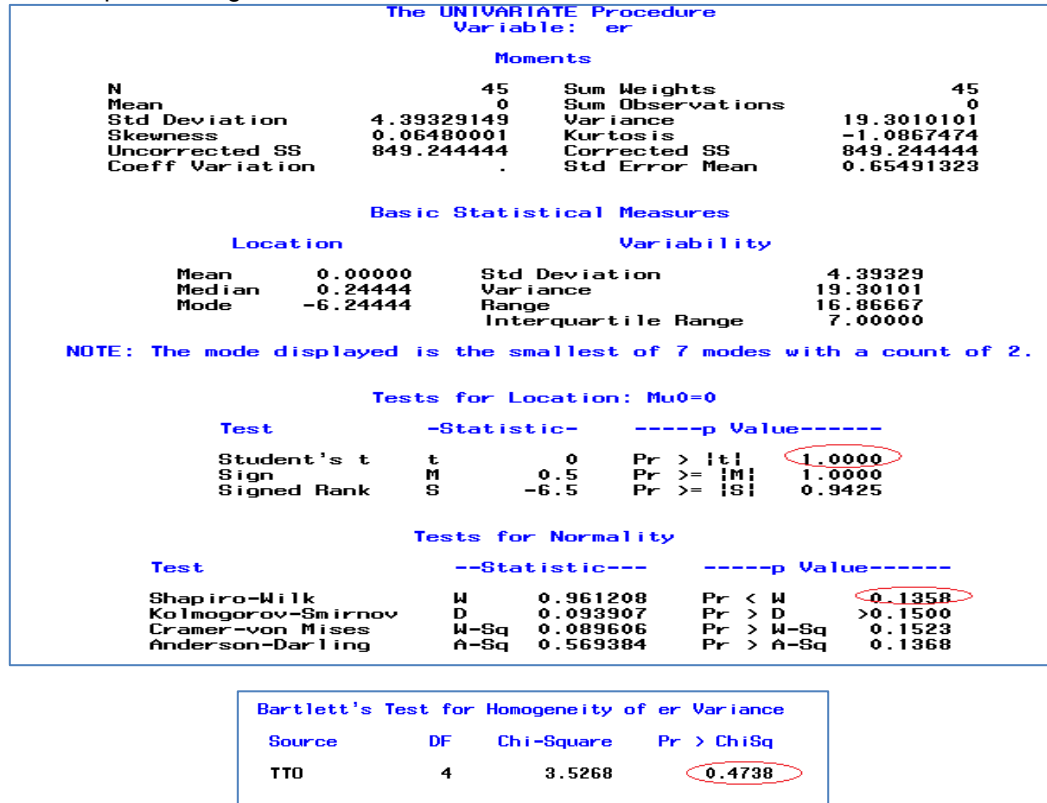
Los resultados que arrojó el programa se presentan de la siguiente manera. Ver figura 18.

A continuación se muestran los resultados del DÍA 6, día en que todos los tratamientos muestran diferencia entre ellos y el DÍA 71 semana 11, en donde ya



NO se presenta ninguna diferencia entre los tratamientos. Asimismo se evaluó cada día de datos.

Figura 18. Supuestos a garantizar



Fuente: propia

Según la figura 18, se muestra que empleando un nivel de significancia de 0,05, que los errores tienen un media cero, con una distribución normal y hay homogeneidad de la varianza, cumpliendo con los supuestos del experimento.

Ahora los resultados del ANAVA indican:

Figura 19. Resultado prueba F día 6 semana 1.

The SAS System					
The GLM Procedure					
Dependent Variable: TEMP					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	2653.955556	442.325926	19.79	<.0001
Error	38	849.244444	22.348538		
Corrected Total	44	3503.200000			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEMP Mean	
	0.757580	10.69553	4.727424	44.20000	
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TTO	4	2371.422222	592.855556	26.53	<.0001
REP	2	282.533333	141.266667	6.32	0.0043
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TTO	4	2371.422222	592.855556	26.53	<.0001
REP	2	282.533333	141.266667	6.32	0.0043

Fuente: Propia

Según la figura 19, se muestra que con respecto a la hipótesis principal a analizar, con un nivel de significación de 0,05.

Hipótesis:

$H_0 = \tau = \tau_i$  (Todos los tratamientos producen el mismo efecto).

$H_1 = \tau \neq \tau_i$  (Al menos uno de los tratamientos produce efectos distintos).

### Regla de Decisión

Rechazar  $H_0$ . Si el valor de  $Pr > F < F$  critico

Acepto  $H_0$ . Si el valor de  $Pr > F > F$  critico

$0,001 < 0,05 =$  se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , por lo tanto a través de la prueba F fue constatado que hay efecto diferente en alguno de los tratamientos.

Figura 20. Test de Duncan

The GLM Procedure				
Duncan's Multiple Range Test for TEMP				
NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.				
Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	38			
Error Mean Square	22.34854			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	4.511	4.743	4.895	5.004
Means with the same letter are not significantly different.				
Duncan Grouping	Mean	N	TTO	
A	51.667	9	5	
A				
A	49.889	9	2	
A				
A	48.667	9	4	
B	35.667	9	3	
B				
B	35.111	9	1	

Fuente: propia

Según la figura 20, este test nos muestra que los tratamientos en este día se agruparon en dos diferentes clases A y B, lo cual evidencia que si hay diferencia entre los tratamientos.

Figura 21. Test de SNK

Alpha	0.05			
Error Degrees of Freedom	38			
Error Mean Square	22.34854			
Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	4.5114212	5.4349948	5.986888	6.3804144
Means with the same letter are not significantly different.				
SNK Grouping	Mean	N	TTO	
A	51.667	9	5	
A				
A	49.889	9	2	
A				
A	48.667	9	4	
B	35.667	9	3	
B				
B	35.111	9	1	

Fuente: Propia

Según la figura 21, este test al igual que el de Duncan muestra que los tratamientos en este día se agruparon en dos diferentes clases A y B, lo cual evidencia que si hay diferencia entre los tratamientos.

Figura 22. Test Tukey

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for TEMP			
NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.			
Alpha			0.05
Error Degrees of Freedom			38
Error Mean Square			22.34854
Critical Value of Studentized Range			4.04898
Minimum Significant Difference			6.3804
Means with the same letter are not significantly different.			
Tukey Grouping	Mean	N	TTO
A	51.667	9	5
A	49.889	9	2
A	48.667	9	4
B	35.667	9	3
B	35.111	9	1

Fuente: Propia

Según la figura 22, este test es el más aceptado al igual que los demás muestra que los tratamientos en este día se agruparon en dos diferentes clases A y B, lo cual evidencia que si hay diferencia entre los tratamientos.

Figura 23. Test Scheffe

Scheffe's Test for TEMP			
NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.			
Alpha			0.05
Error Degrees of Freedom			38
Error Mean Square			22.34854
Critical Value of F			2.61899
Minimum Significant Difference			7.213
Means with the same letter are not significantly different.			
Scheffe Grouping	Mean	N	TTO
A	51.667	9	5
A	49.889	9	2
A	48.667	9	4
B	35.667	9	3
B	35.111	9	1

Fuente: Propia

Según la figura 23, este test al igual que los demás muestra que los tratamientos en este día se agruparon en dos diferentes clases A y B, lo cual evidencia que si hay diferencia entre los tratamientos.

Asimismo como en el *DÍA 6*, desde el primer día se evidencia que hay diferencia significativa entre los tratamientos para cada una de las variables Temperatura, Humedad y pH, de esta manera se evalúa cada día hasta determinar en cuál de ellos se estabiliza el proceso, así obtenemos que en el día 71 semana 11 ya NO se presenta ninguna diferencia entre los tratamientos.

A continuación se muestra la figura 24 en donde se presenta el resultado de la prueba F y en la figura 25 se muestra el Test de Tukey que es el más aceptado el cual muestra que ya NO hay ninguna diferencia entre los tratamientos.

Figura 24. Resultado prueba F día 71 semana 11.

Dependent Variable: TEMP					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	7.15555556	1.19259259	1.24	0.3071
Error	38	36.48888889	0.96023392		
Corrected Total	44	43.64444444			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	TEMP Mean	
	0.163951	4.318921	0.979915	22.68889	
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	4.31111111	1.07777778	1.12	0.3604
REP	2	2.84444444	1.42222222	1.48	0.2402
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TT0	4	4.31111111	1.07777778	1.12	0.3604
REP	2	2.84444444	1.42222222	1.48	0.2402

Fuente: Propia.

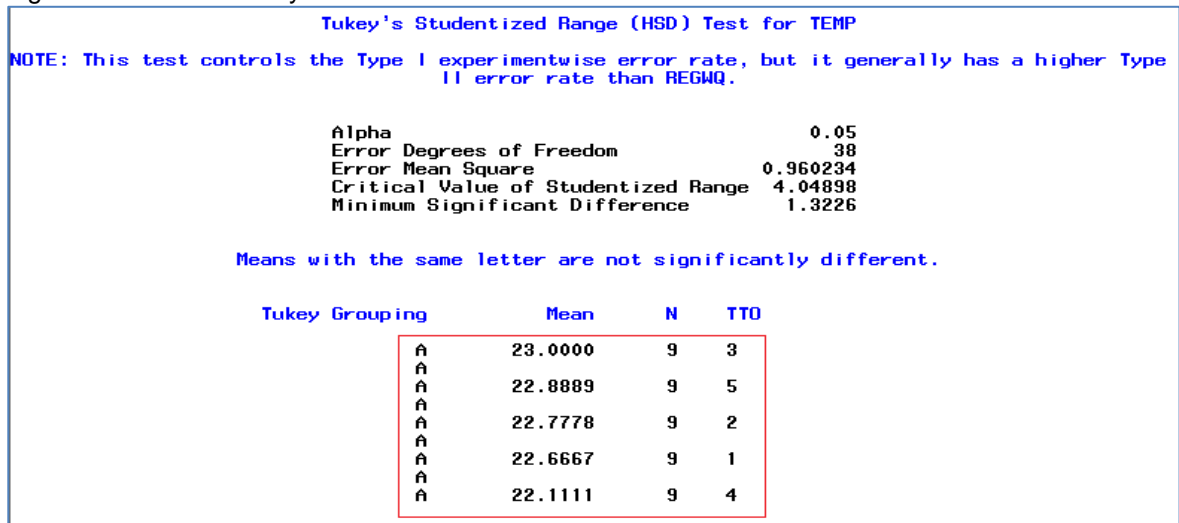
### Regla de Decisión

Rechazar  $H_0$ . Si el valor de  $Pr > F < F_{critico}$

Acepto  $H_0$ . Si el valor de  $Pr > F > F_{critico}$

$0.3604 > 0.05$  = Se acepta la hipótesis nula  $H_0$ , por lo tanto a través de la prueba F fue constatado que NO hay efecto diferente en alguno de los tratamientos.

Figura 25. Test de Tukey



Fuente: Propia.

Según la figura 25, este test muestra que los tratamientos en este punto *DIA 71 SEMANA 11* se agrupan en uno solo grupo A, como se ve delineado con rojo en la gráfica 25, lo cual evidencia que NO hay diferencia entre los tratamientos. Por lo cual determinamos que los tratamientos ya se habían estabilizado.

#### 6.2.7 CANTIDAD DE COMPOST OBTENIDO EN PLANTA PILOTO

Ya se había dicho que cada una de las pilas inicio el proceso con 240 kg el día 11 de julio de 2013, después de los 4 meses (06 de noviembre de 2013) se pesaron las pilas para determinar en cuanto había cambiado su masa al transformarse en compost. (Ver foto 33)

Foto 33. Pesaje del compost



Fuente: Propia

Los valores obtenidos se presentan en la tabla 15.

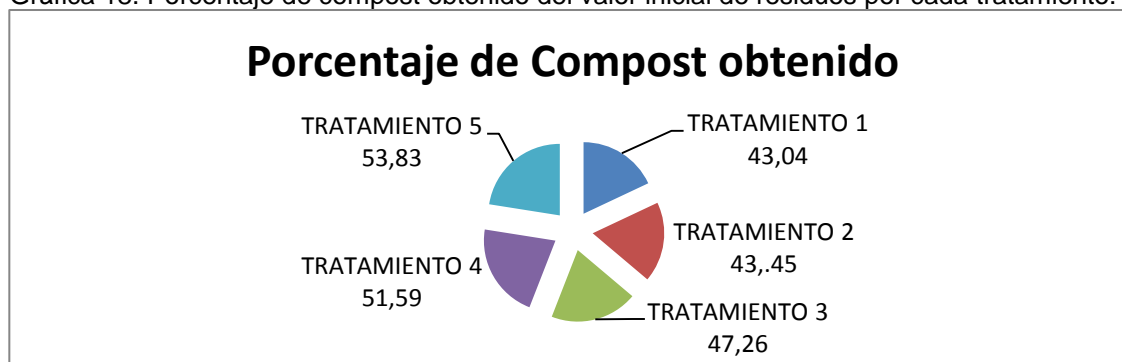
Tabla 15. Cantidad de Compost obtenido.

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5
MASA INICIAL DE RESIDUOS EN kg	720	720	720	720	720
MASA FINAL DE COMPOST EN kg	309,88	312,83	340,28	371,48	387,58

Fuente: Propia.

A partir de la tabla 15 se puede observar que en los dos últimos tratamientos fue donde se obtuvo mayor cantidad de compost. La gráfica 18 se muestra el porcentaje de compost obtenido por cada tratamiento del total del 100%.

Gráfica 18. Porcentaje de compost obtenido del valor inicial de residuos por cada tratamiento.



Fuente: Propia.

Por lo tanto la gráfica 18 muestra que los tratamientos en los que se obtuvo mayor cantidad de compost fueron el cuatro y el cinco, debido a que la biomasa disminuyó en un 46,17% y 48,41% respectivamente; mientras en el tratamiento 1 se redujo un 56,96%, en el 2 un 56,55% y en el 3 un 52,74%. Esto quiere decir que en el 4 y el 5 hubo menos pérdida y por lo tanto se obtuvo mayor cantidad de compost.

### 6.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL COMPOST OBTENIDO EN PLANTA PILOTO A PARTIR DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA PARA ABONOS ORGÁNICOS NTC 5167.

La caracterización de las muestras se hizo en los laboratorios de la Universidad Libre, estas se hicieron según los parámetros de la norma NTC 5167, la cual establece que el compost debe cumplir con unas características para poder ser catalogado como abono orgánico, estas se presentan en la tabla 7 de la metodología elegidas de acuerdo a los residuos usados principalmente, por lo cual se determina que aplica totalmente debido a que la materia prima proviene de residuos vegetales.

Además de los parámetros a garantizar en base húmeda, se determinó para cada muestra de compost, el contenido de Magnesio total, Calcio total, Hierro, Cobre, Manganeso, Sodio y Potasio. Igualmente aunque por la materia prima de la cual provienen los residuos no se exige determinar el contenido de metales pesados, se midió: Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel y Plomo.

A continuación se presenta la tabla 16 en la cual se discriminan los parámetros que fueron medidos y cual método se usó para posteriormente presentar los resultados.



Tabla 16. Parámetros medidos a las muestras sólidas.

<b>PARAMETRO A GARANTIZAR</b>	<b>VALOR ACEPTABLE</b>	<b>METODO ANALITICO USADO</b>
Carbono orgánico oxidable total (%C)	Mínimo 15%	NTC 5167 Walkey Black
Humedad máxima (%)	Máximo 35%	NTC 5167 Gravimetría
Contenido de cenizas (%)	Máximo 60%	NTC 5167 Gravimetría
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	Mínimo 30 meq/100g	NTC 5167 Volumetría
Capacidad de retención de humedad (%)	Mínimo su propio peso	NTC 5167 Gravimetría
pH	Mayor de 4 y menor que 9	NTC 5167 Potenciometría
Contenido de N total (%N)	Declararlos si es mayor de 1%	Kjeldahl (Digestor VELP DK6)
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo 0.6 g/cm <sup>3</sup>	NTC 5167 Gravimetría
Relación C/N	No especifica	(Relación entre el valor de Carbono obtenido y Nitrógeno)
Magnesio Total (Mg)	No especifica	Absorción atómica
Calcio Total (Ca)	No especifica	Espectrofotometría UV (Kit Merck Ca)
Hierro Total (Fe)	No especifica	Espectrofotometría UV (Kit Merck Fe)
Cobre Total (Cu)	No especifica	Espectrofotometría UV (Kit Merck Cu)
Manganeso Total (Mn)	No especifica	Espectrofotometría UV (Kit Merck Mn)
Sodio Total (Na)	No especifica	Absorción atómica
Potasio Total (K)	Declararlos si es mayor de 1%	Espectrofotometría UV (Kit Merck K)
Fósforo Total (P)	Declararlos si es mayor de 1%	Espectrofotometría UV (Kit Merck P)
Cadmio (Cd)	Máximo 39 mg/kg	Absorción atómica
Cromo (Cr)	Máximo 1200 mg/kg	Absorción atómica
Mercurio (Hg)	Máximo 17 mg/kg	Absorción atómica
Níquel (Ni)	Máximo 420 mg/kg	Absorción atómica
Plomo (Pb)	Máximo 300 mg/kg	Absorción atómica

Fuente: Propia.

### 6.3.1 PARAMETROS MEDIDOS A LAS MUESTRAS SÓLIDAS

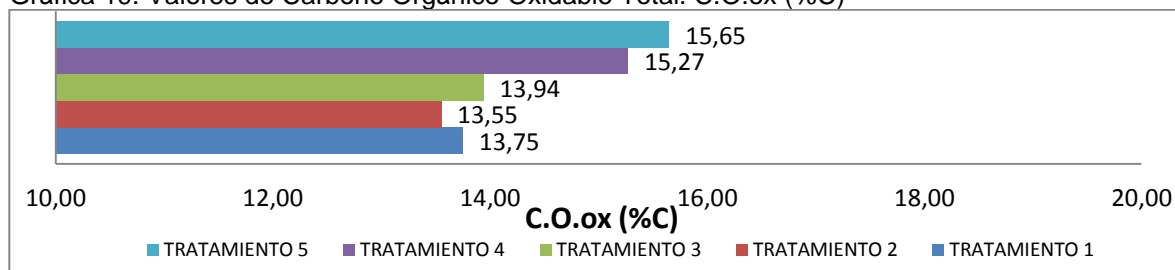
Se analizaron cinco muestras, una por cada tratamiento que fue homogenizado previamente. Se prepararon las muestras conforme a lo establecido en la NTC 5167, los procedimientos están establecidos en el anexo 1, los faltantes se

consultaron en el libro Prácticas de Análisis Químico de Suelos de la Universidad Industrial de Santander del año 2008. A continuación se muestran las diferentes gráficas con los resultados de cada uno de los parámetros.

#### 6.3.1.1 Carbono Orgánico Oxidable Total. C.O.ox (%C)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 19.

Gráfica 19. Valores de Carbono Orgánico Oxidable Total. C.O.ox (%C)



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro debe ser mínimo de 15%, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 19, solo el tratamiento 4 y 5 cumplen con este requisito. Cabe resaltar que en estos dos tratamientos se añadieron microorganismos (EM), los cuales contienen bacterias ácido lácticas usadas para ayudar en la descomposición de la materia orgánica vegetal, principalmente contiene la especie *lactobacillus cassei*, usada en diversas investigaciones acerca de la fermentación de la glucosa y la lactosa, según Ohio State University<sup>93</sup> debido al organismo fermentativo del género *Lactobacillus*, estas bacterias con capaces de oxidar azúcares, incrementando así los contenidos de otros componentes, como compuestos alifáticos entre ellos la celulosa y compuestos aromáticos como la lignina propios de las plantas, de esta manera se transforma la materia orgánica y se incrementa el contenido de carbono orgánico.

<sup>93</sup>OHIO STATE UNIVERSITY. Optimizing mixing compost ratios Ohio, 2012. Citado por NAVIA, ZEMANATE, VELASCO, PRADO & LÓPEZ. Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). En Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Edición especial No. 2, (165-173).

Lo anterior explicaría el aumento de los valores de carbono orgánico oxidable total en los tratamientos 4 y 5 mostrados en la gráfica 19.

#### 6.3.1.2 Contenido de Humedad (%)

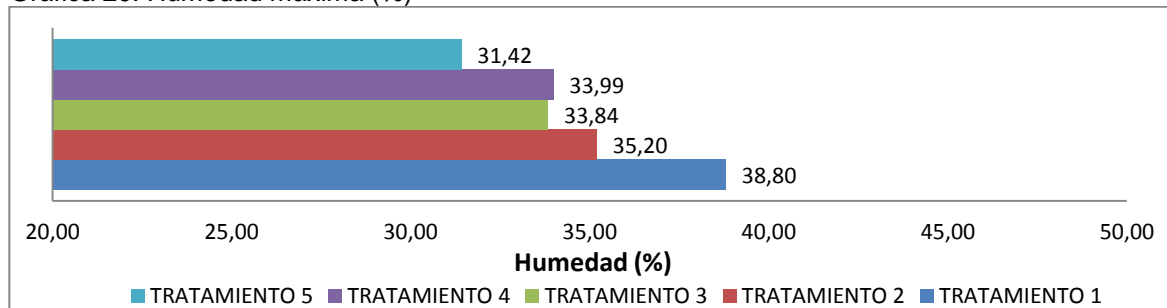
La medición de este parámetro se hizo en el laboratorio de la Universidad (ver foto 34), los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 20.

Foto 34. Determinación de la Humedad de la muestra.



Fuente: Propia.

Gráfica 20. Humedad máxima (%)



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro debe ser máximo de 35%, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 20, el tratamiento 3, 4 y 5 cumplen con este requisito. La humedad es un factor característico de un buen abono sólido, respecto con esto se podría afirmar que dichos tratamientos tienen menor porcentaje de humedad debido a que el abono obtenido en cada uno de ellos muestra mejores propiedades físicas y químicas.

#### 6.3.1.3 Contenido de cenizas (%)

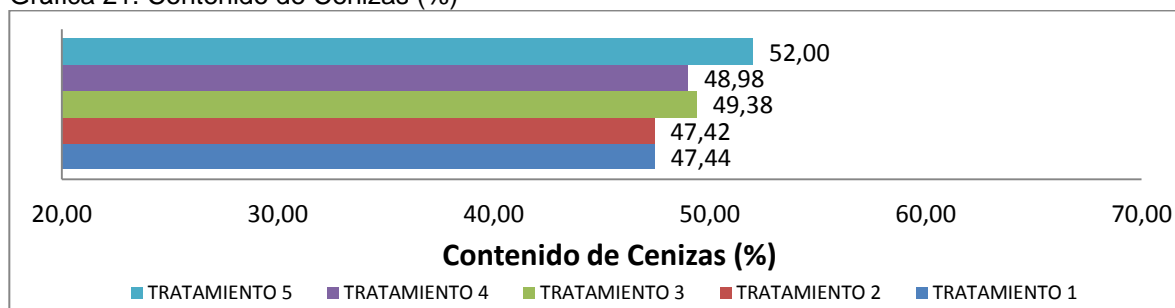
La medición de este parámetro se hizo en el laboratorio de la Universidad (ver foto 35), los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 21.

Foto 35. Determinación de cenizas.



Fuente: propia.

Gráfica 21. Contenido de Cenizas (%)



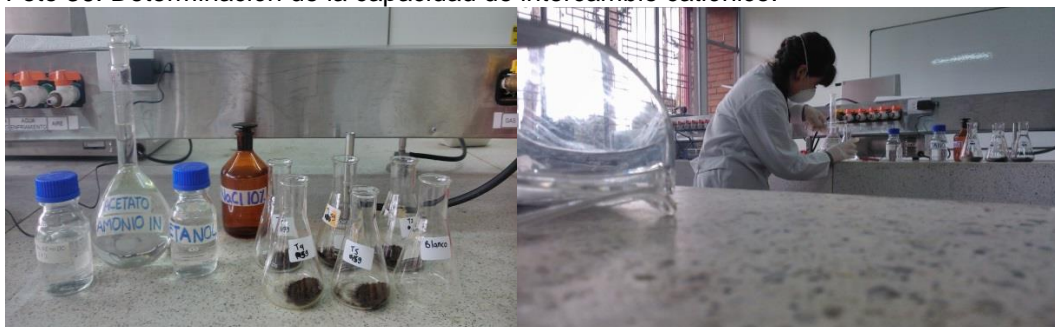
Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro debe ser máximo de 60%, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 21, todos los tratamientos cumplen con este requisito por no excederse de 60%.

#### 6.3.1.4 Capacidad de intercambio catiónico CIC (meq/100g)

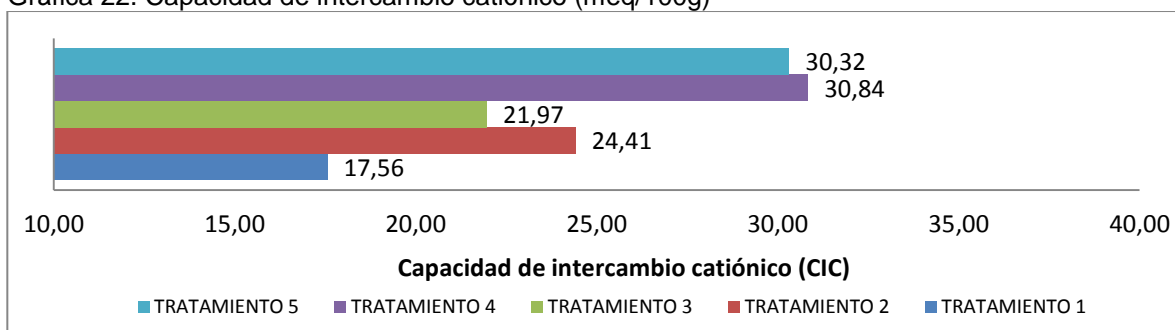
La medición de este parámetro se hizo en el laboratorio de la Universidad (ver foto 36), los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 22.

Foto 36. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico.



Fuente: Propia.

Gráfica 22. Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)



Fuente: Propia.

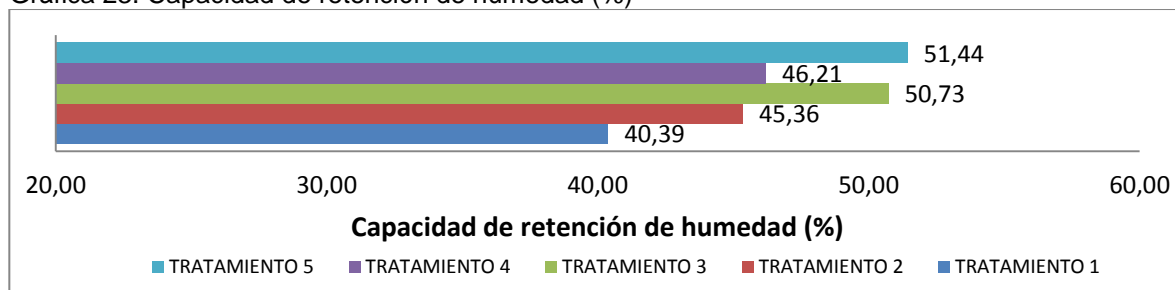
Según la NTC 5167 este parámetro debe ser mínimo 30 meq/100g, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 22, únicamente los tratamientos 4 y 5 cumplen con este requisito por ser mayor a 30 meq/100g. Retomando los valores obtenidos de carbono orgánico oxidable, cabe mencionar que según Moreno, J., Moral, R<sup>94</sup>, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una propiedad estrechamente relacionada al contenido de materia orgánica, por lo tanto de acuerdo a los valores obtenidos, los tratamientos 4 y 5 presentaron los más altos contenidos de carbono orgánico lo que a su vez ocasiona los mayores valores de CIC mostrados en la gráfica 22.

<sup>94</sup> MORENO, J., MORAL, R. Compostaje. Madrid. España. Ediciones Mundi- prensa, 2008. Citado por NAVIA, ZEMANATE, VELASCO, PRADO & LÓPEZ. Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). En Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Edición especial No. 2, (165-173).

### 6.3.1.5 Capacidad de retención de humedad (%)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 23.

Gráfica 23. Capacidad de retención de humedad (%)



Fuente: Propia.

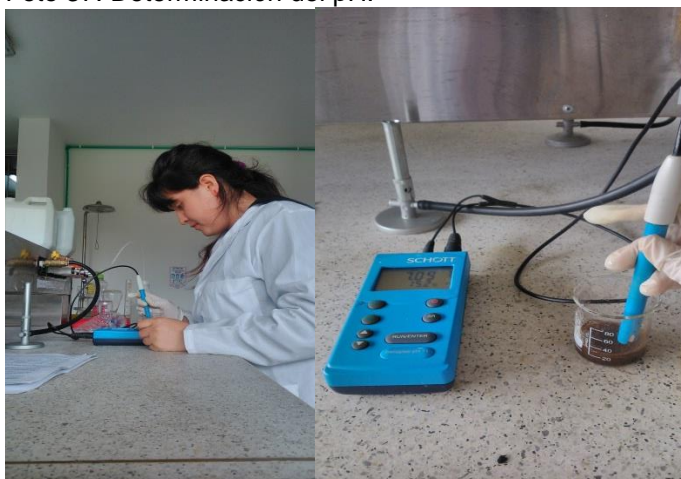
Según la NTC 5167 este parámetro debe ser mínimo su propio peso, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 23, los abonos que más retienen la humedad son los obtenidos por el tratamiento 3 y 5 seguidos por el 4, asimismo Fundases<sup>95</sup> establece que debido a la agregación de EM, se incrementan los espacios porosos, mejora la infiltración del agua, por lo cual se disminuye la frecuencia de riego, esto justificaría el valor obtenido en cuanto a los tratamientos 4 y 5, con respecto al 3 cabe destacar que el porcentaje de humedad también cumple el valor establecido por la norma NTC 5167 por lo tanto se puede justificar la cifra obtenida en cuanto a capacidad de retención de humedad por ser parámetros relacionados.

### 6.3.1.6 pH

La medición de este parámetro se hizo en el laboratorio de la Universidad (ver foto 37), los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 24.

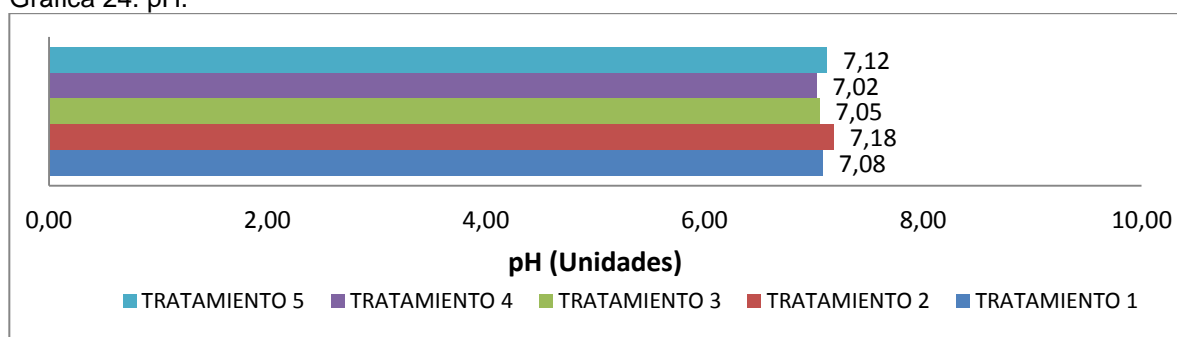
<sup>95</sup> FUNDACIÓN DE ASESORIAS PARA EL SECTOR RURAL (FUNDASES). Como actúan los microorganismo eficientes (EM).

Foto 37. Determinación del pH.



Fuente: propia.

Gráfica 24. pH.



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro debe estar entre 4 y 9, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 24, todos los abonos obtenidos cumplen con este parámetro. Además se evidencia que no hay diferencias muy grandes entre los resultados.

#### 6.3.1.7 Contenido de Nitrógeno total (%N)

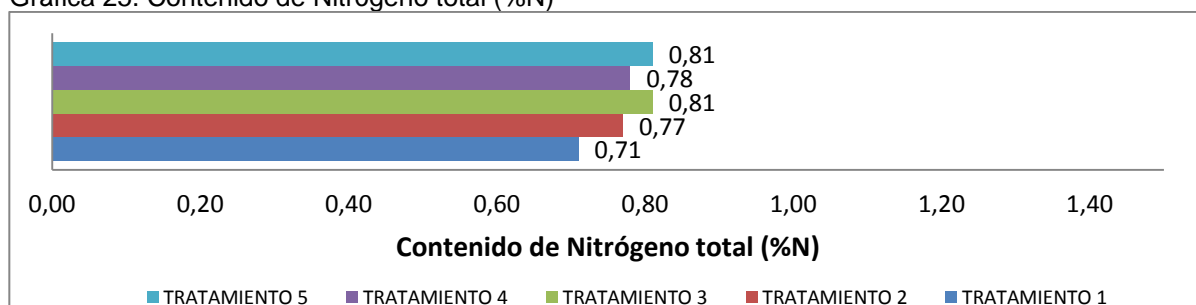
La medición de este parámetro se hizo en el laboratorio de la Universidad (ver foto 38), Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 25.

Foto 38. Equipo para determinar nitrógeno total VELP DK 6 y VELP UDK 132.



Fuente: propia.

Gráfica 25. Contenido de Nitrógeno total (%N)



Fuente: Propia.

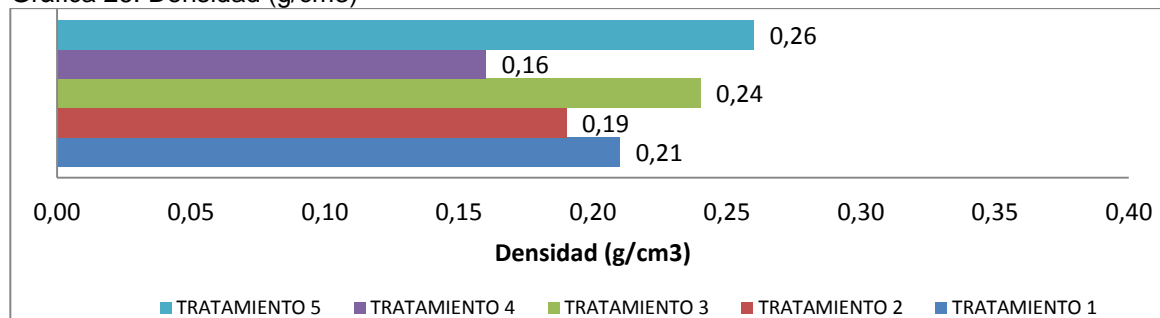
Según la NTC 5167 este parámetro se debe reportar si es mayor al 1%, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 25, ninguno de los abonos obtenidos contiene esta proporción de nitrógeno, sin embargo los valores son próximos al estándar estipulado de 1%, los mayores se presentan en los tratamientos 3 y 5 seguidos por el 4. Con respecto a estos resultados se puede inferir que los tratamientos 3 y 5, tuvieron un mayor contenido de nitrógeno debido a la alta concentración de materia orgánica, lo cual se reitera con los resultados obtenidos en la gráfica 19 en donde el mayor valor de %C se encontró en los tratamientos 3, 4 y 5.



#### 6.3.1.8 Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 26.

Gráfica 26. Densidad (g/cm<sup>3</sup>)



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro debe ser máximo de 0,60 g/cm<sup>3</sup>, por lo tanto de acuerdo con la gráfica 26, todos los abonos obtenidos cumplen con este requisito se obtienen valores bajos inferiores a 0,60 g/cm<sup>3</sup>.

#### 6.3.1.9 Relación C/N

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 27.

Gráfica 27. Relación C/N



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado, para calcularlo se determinó la relación entre el contenido de carbono orgánico oxidable total que se obtuvo y el porcentaje de nitrógeno total (%N). De acuerdo con la gráfica 27 se

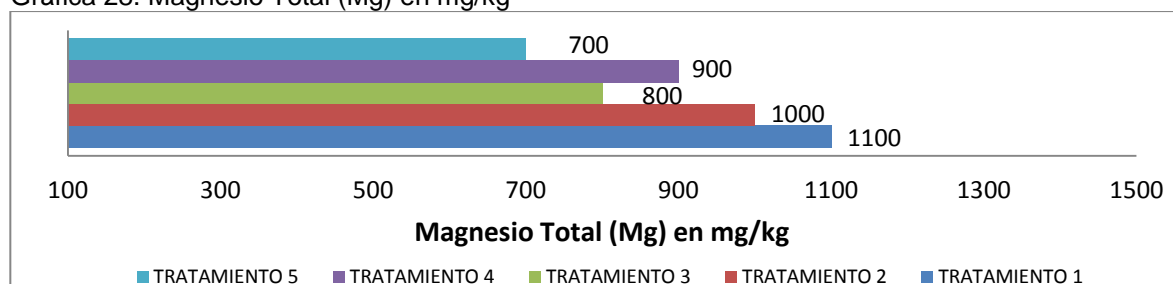
evidencia que los valores más elevados los tienen el tratamiento 1, 4 y 5. Esto debido a que en estos tratamientos se presentaron las mayores contenidos de carbono, como ya se había mencionado en el análisis del %C, los tratamientos 4 y 5 tuvieron adición de EM por lo tanto esto ayudo a que la concentración de carbono aumentara debido a la presencia de las bacterias ácido lácticas las cuales ayudan a la rápida degradación de la materia orgánica (MO), esto a su vez influyo en el aumento del porcentaje de nitrógeno debido a la alta concentración de MO, por lo tanto la relación C/N es mayor que en los demás tratamientos.

En cuanto al tratamiento 1, cabe mencionar que este no contó con la adición de EM, pero al realizar el volteo cada quince días hizo que los residuos se degradaran rápidamente, factor que favoreció la rápida transformación de la MO por ello este tratamiento también presenta valor elevado de relación C/N.

#### 6.3.1.10 Magnesio Total (Mg)

La medición de este parámetro se hizo en el laboratorio de la Universidad, en el equipo de absorción atómica, los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 28.

Gráfica 28. Magnesio Total (Mg) en mg/kg



Fuente: Propia.

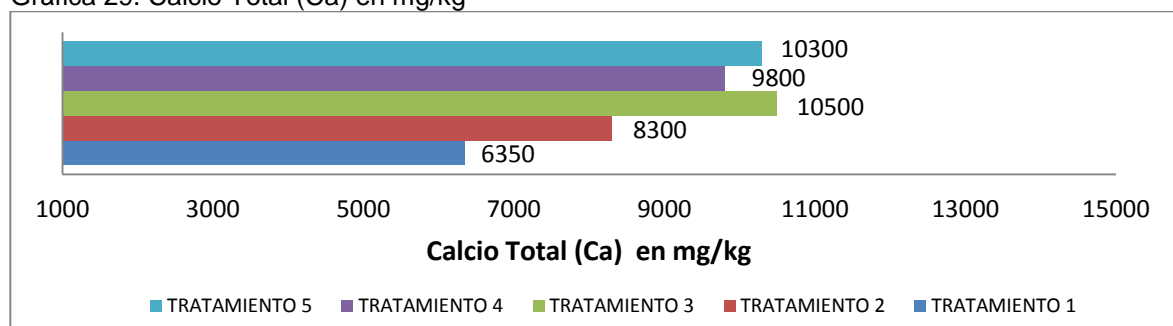
Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado para este tipo de abono, debido a que no es exigido como parámetro a caracterizar, sin embargo se determinaron con el fin de hacer un informe más completo de las propiedades de abono, de acuerdo con la gráfica 28 se evidencia que los valores más elevados

los tiene el tratamiento 1 y 2. Aunque la diferencia para los otros abonos no es muy grande, debido a que los valores obtenidos en los tratamientos 3, 4 y 5 también muestran tienen buen contenido de magnesio total.

#### 6.3.1.11 Calcio Total (Ca)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 29.

Gráfica 29. Calcio Total (Ca) en mg/kg



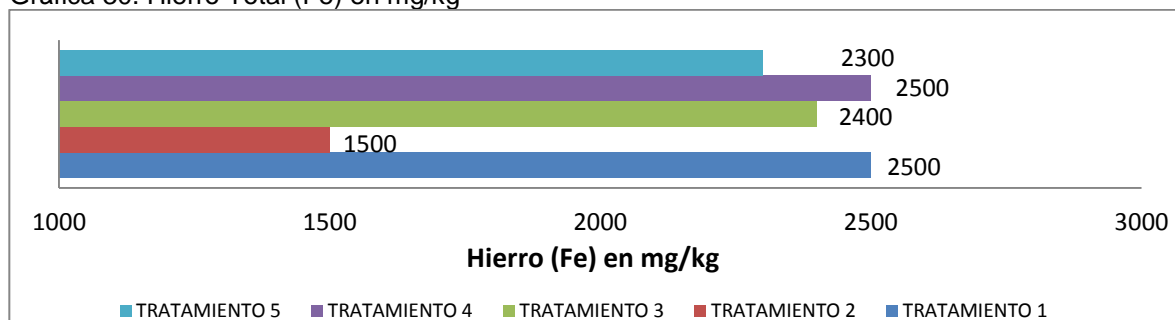
Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado para este tipo de abono, debido a que no es exigido como parámetro a caracterizar, sin embargo se determinaron con el fin de hacer un informe más completo de las propiedades de abono, de acuerdo con la gráfica 29 se evidencia que los valores más elevados se obtuvieron en los abonos del tratamiento 3, 4 y 5.

#### 6.3.1.12 Hierro Total (Fe).

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 30.

Gráfica 30. Hierro Total (Fe) en mg/kg



Fuente: Propia.

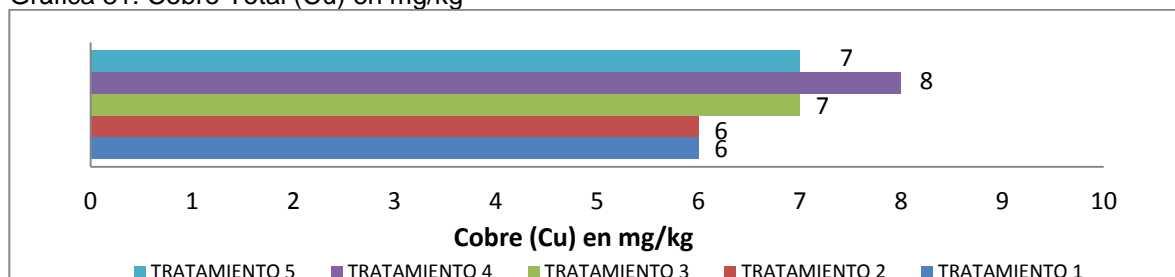
Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado para este tipo de abono, debido a que no es exigido como parámetro a caracterizar, sin embargo se determinaron con el fin de hacer un informe más completo de las propiedades del abono, de acuerdo con la gráfica 30 se evidencia que en general los valores estuvieron cercanos excepto por el tratamiento 2 que tiene la menor cantidad de hierro, esto debido a que según Lucena, C. Romera, F.J. Rojas, C.L. García, M.J. Alcántara, E. Pérez V, R<sup>96</sup> el pH es un factor fundamental que puede afectar la capacidad para solubilizar hierro, es decir que la disponibilidad de este metal disminuye a mayor valor de pH. Entonces de acuerdo a los resultados obtenidos de pH, se puede apreciar que el tratamiento 2 tuvo el mayor valor 7,18 unidades lo cual explicaría los resultados mostrados en la gráfica 30 en donde el menor valor de hierro lo tiene dicho tratamiento.

<sup>96</sup> LUCENA, C. ROMERA, F.J. ROJAS, C.L. GARCIA, M.J. ALCANTARA, E. PEREZ V, R. 2007. Bicarbonate blocks the expression of several genes involved in the physiological responses to Fe deficiency of Strategy I plants. *Funct Plant Biol* 34:1002–1009.

#### 6.3.1.13 Cobre Total (Cu)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 31.

Gráfica 31. Cobre Total (Cu) en mg/kg



Fuente: Propia.

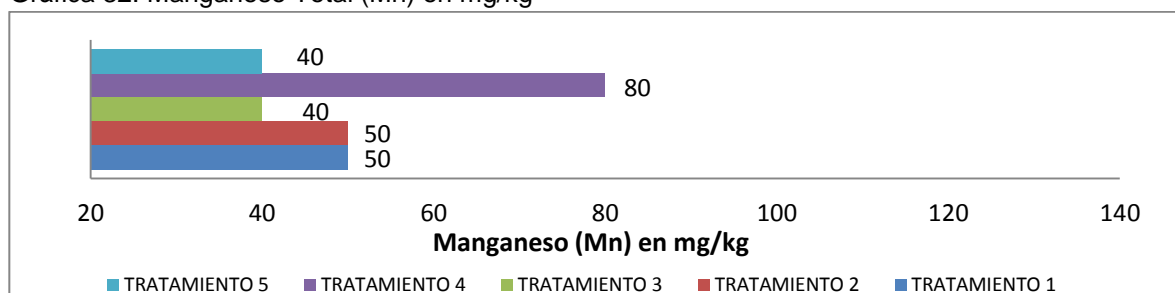
Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado para este tipo de abono, debido a que no es exigido como parámetro a caracterizar, sin embargo se determinó con el fin de hacer un informe más completo de las propiedades de abono, de acuerdo con la gráfica 31 se evidencia que en general los valores estuvieron cercanos entre sí. Con respecto al tratamiento 4, en donde se obtuvo mayor contenido de cobre, según KALI<sup>97</sup>, diversos factores pueden afectar la concentración de cobre, uno de ellos es el pH, usualmente con su disminución aumenta el contenido de cobre. Por lo cual al relacionar el valor de pH obtenido en el tratamiento 4, se observa que éste tiene el menor pH correspondiente a 7,02 unidades, por lo tanto ese factor ayudo a que dicho tratamiento presentara una diferencia en cuanto al contenido de cobre mostrado en la gráfica 31.

#### 6.3.1.14 Manganeso Total (Mn)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 32.

<sup>97</sup> KALI, La autoridad en Potasio y Magnesio. Cobre (Cu) en el suelo.

Gráfica 32. Manganeso Total (Mn) en mg/kg



Fuente: Propia.

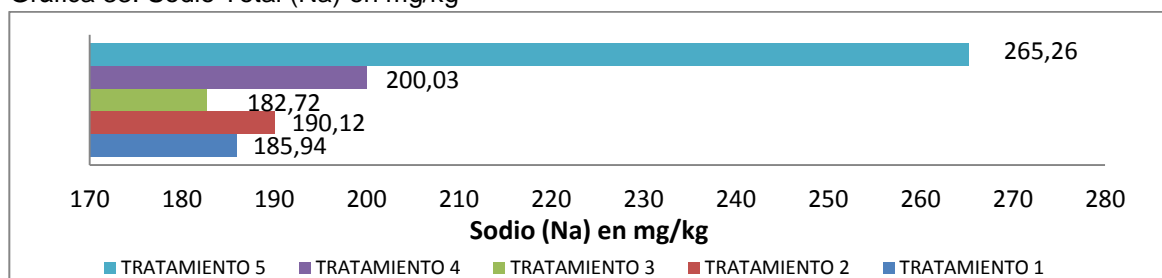
Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado para este tipo de abono, debido a que no es exigido como parámetro a caracterizar, sin embargo se determinaron con el fin de hacer un informe más completo de las propiedades de abono, de acuerdo con la gráfica 32 se evidencia que en general los valores estuvieron cercanos entre sí, excepto en el abono obtenido en el tratamiento 4 que tiene un valor superior a los demás, esto podría haberse dado debido a que en este tratamiento se obtuvo el menor valor de pH correspondiente a 7.02 unidades y según la FAO<sup>98</sup> el pH es un factor que interviene en la absorción del hierro y del manganeso, entre menor sea éste se presenta mayor contenido de los metales. Por ello aunque los valores de pH en los tratamientos no presentan diferencias muy grandes tampoco se evidencian cambios notables en el contenido de cobre excepto en el tratamiento 4 que aunque no varía su pH significativamente sigue siendo el menor de los datos obtenidos y por lo tanto hace que aumente el contenido de cobre.

#### 6.3.1.15 Sodio total (Na)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 33.

<sup>98</sup> ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo.

Gráfica 33. Sodio Total (Na) en mg/kg



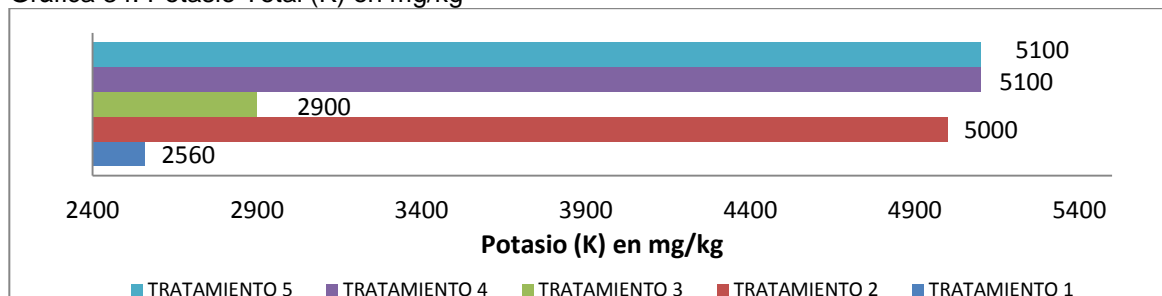
Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado para este tipo de abono, debido a que no es exigido como parámetro a caracterizar, sin embargo se determinaron con el fin de hacer un informe más completo de las propiedades de abono, de acuerdo con la gráfica 33 se evidencia que los valores más elevados se obtuvieron en los abonos del tratamiento 4 y 5. Mientras los del tratamiento 1, 2 y 3 estuvieron cercanos entre sí con valores inferiores a 200 mg/kg.

#### 6.3.1.16 Potasio total (K)

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 34.

Gráfica 34. Potasio Total (K) en mg/kg



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado, de acuerdo con la gráfica 34 se evidencia que los valores máximos se obtuvieron en los abonos de los tratamientos 2, 4 y 5, mientras en los tratamientos 1 y 3 se alcanzaron valores aproximadamente de la mitad que en los otros tres tratamientos.

Según Moreno, J., Moral, R<sup>99</sup> , el potasio se encuentra fuertemente relacionado con el contenido de materia orgánica.

Retomando los resultados obtenidos del %C, los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos 4 y 5, con respecto a estos resultados, dichos tratamientos tuvieron adición de microorganismos eficientes (EM) los cuales contienen bacterias ácido lácticas del género *Lactobacillus* que permiten la rápida degradación de la materia orgánica, principalmente contienen *lactobacillus casei* generadora de la enzima amilasa para la digestión de carbohidratos. Lo anterior explicaría los resultados obtenidos en la gráfica 34 para los tratamientos 4 y 5.

#### 6.3.1.17 Fósforo total (P)

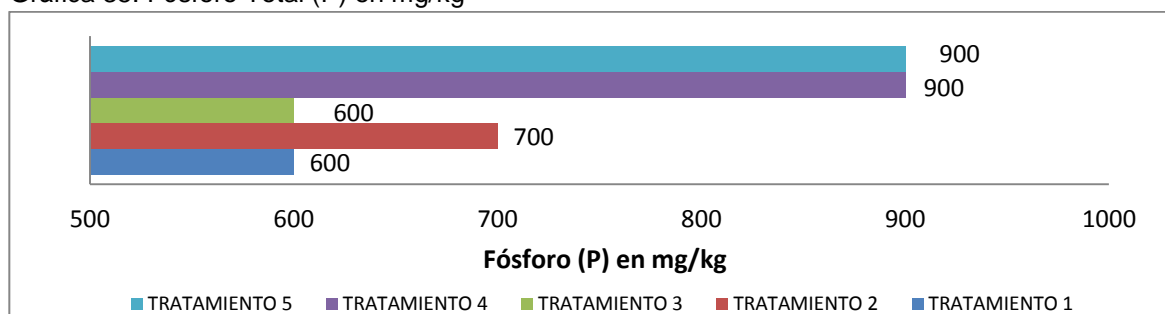
Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica 35.

---

<sup>99</sup> MORENO, J., MORAL, R. Compostaje. Madrid. España. Ediciones Mundi- prensa, 2008. Citado por NAVIA, ZEMANATE, VELASCO, PRADO & LÓPEZ. Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). En Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Edición especial No. 2, (165-173).



Gráfica 35. Fósforo Total (P) en mg/kg



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 este parámetro no está especificado, de acuerdo con la gráfica 35 se evidencia que los valores máximos se obtuvieron en los abonos del tratamiento 4 y 5 a los cuales se les añadieron microorganismos organismos (EM), que contienen Bacterias Fototróficas usadas para sintetizar sustancias como aminoácidos, ácidos nucleicos, azúcares, entre otros, que ayudan al crecimiento de la planta, principalmente contiene *Rhodopseudomonas* spp. que permite según EMPROTEC<sup>100</sup> incrementar la población microbiana como es el caso del aumento de las micorrizas vesicular arbuscular (MVA) debido a la disponibilidad de aminoácidos, lo que les permite aumentar la solubilidad de fosfatos en el suelo y por lo tanto otorgar mayor cantidad de fósforo.

Lo anterior explicaría el resultado mostrado en la gráfica 35.

#### 6.3.1.18 Metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), y Plomo (Pb)

La medición de este parámetro se hizo en el laboratorio de la Universidad (ver foto 40).

<sup>100</sup> EMPROTEC EM PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA S.A. Guía de la Tecnología de EM.

Foto 39. Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Hg, Ni y Pb.



Fuente: Propia.

Según la NTC 5167 estos parámetros son especificados para este tipo de abono, pero si se establece previamente el lugar de donde proviene la materia prima no es necesario efectuar la evaluación. Sin embargo estos parámetros se midieron en el equipo de absorción atómica y se obtuvo que para todas las cinco muestras, TRATAMIENTO 1, 2, 3 ,4 Y 5, los valores de CADMIO (Cd), CROMO (Cd), MERCURIO (Hg), NÍQUEL (Ni) y PLOMO (Pb) fueron de CERO (0).

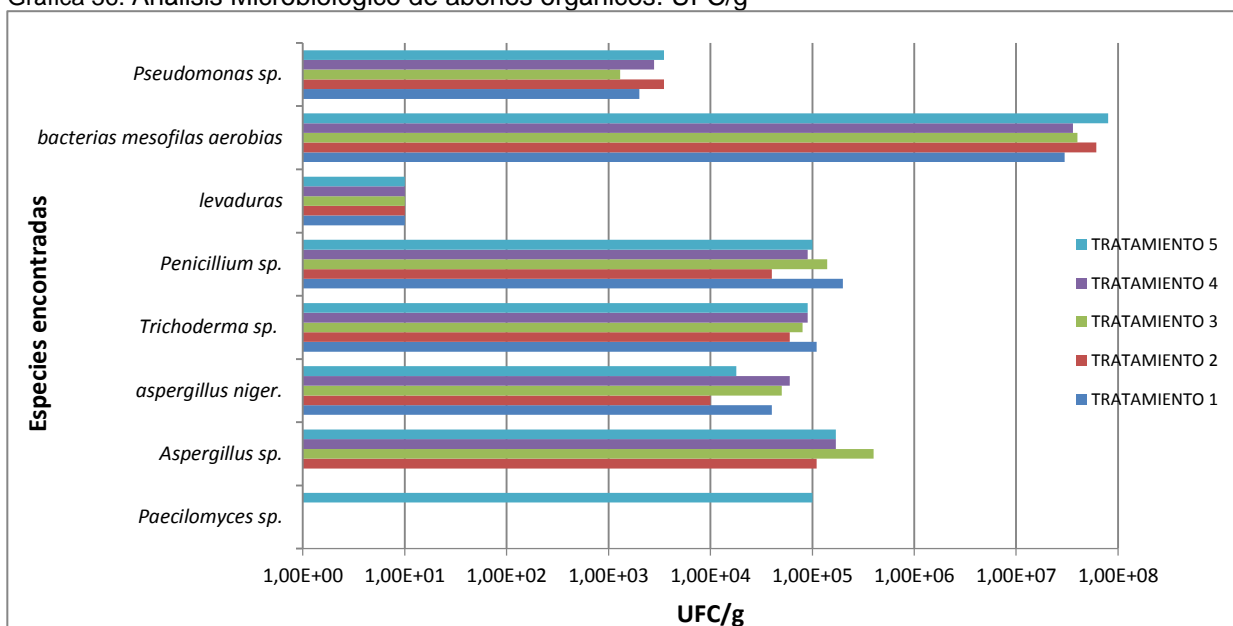
Este resultado era de esperarse debido a que la materia prima proviene de lugares que no están contaminados con ningún tipo de agua residual o fuentes que puedan contener este tipo de contaminantes, aun así se comprobó para mostrar que los abonos obtenidos no contienen ninguno de estos metales pesados que especifica la norma de abonos orgánicos.

### 6.3.2 ANALISIS MICROBIOLOGICO DEL COMPOST OBTENIDO EN PLANTA PILOTO

Los análisis microbiológicos se mandaron a realizar en el laboratorio Dr. Calderón LABS debido a que en la Universidad no era posible realizarlos, estos se pudieron llevar a cabo gracias a la Facultad de Ingeniería que apoyo el proyecto pagando los análisis con el presupuesto para proyectos de investigación.

De acuerdo a los resultados que entrego el laboratorio se presentan: Análisis Microbiológico de abonos orgánicos (ver gráfica 36), Análisis de Enterobacterias y *Salmonella sp.* (Ver grafica 37) y Análisis de Nematodos (ver gráfica 38).

Gráfica 36. Análisis Microbiológico de abonos orgánicos. UFC/g



Fuente: Dr. Calderón LABS.

En la gráfica 36 se presentan los microorganismos presentes en cada uno de los tratamientos, muestra las unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo en el abono, a continuación se presenta información de los microorganismos que se presentan en la gráfica 36 considerando que son importantes debido a su comportamiento en el suelo.

Primero en cuanto al género *Aspergillus*, éste siempre aparece en el compost entre ellos está la especie *aspergillus niger*, los tratamientos 3 y 4 presentan la mayor concentración de este microorganismo, esto es positivo, según investigadores de la Universidad de la Plata (UNLP), 2007<sup>101</sup> esta especie es inocua para los seres humanos y también para la mayoría de los cultivos que demostró propiedades para la asimilación del fósforo, elemento indispensable para el desarrollo de cultivos.

<sup>101</sup> Universidad de la Plata. 2007. Halla hongo para mejorar los cultivos.

En relación con el *Trichoderma sp.* las mayores concentraciones se presentan en el tratamiento 1, 4 y 5, esta especie según Chávez<sup>102</sup> produce sustancias estimuladoras del crecimiento y desarrollo de las plantas, además de protección contra el Hongo Fusarium. Asimismo Fernández<sup>103</sup> menciona que Trichoderma es el más utilizado para el control de un grupo importante de patógenos del suelo.

En tercer lugar las Levaduras son importantes para el proceso de descomposición según Calidad Microbiológica<sup>104</sup>, las levaduras tienen capacidad para realizar la fermentación de hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias. Su ausencia no es factor que pueda afectar la calidad del compost, sin embargo su presencia si ayuda a la aceleración de la descomposición de la materia orgánica.

Las *Pseudomonas sp.*, según Pedraza<sup>105</sup> son organismos fijadores de nitrógeno en las plantas por lo tanto mejoran su crecimiento y la calidad de los suelos, así a partir de la gráfica 36 los tratamientos con mayor contenido de esta especie son el 2 y el 5.

En cuanto a la especie de *Penicillium sp.*, éstos ayudan a la descomposición de la materia orgánica; *Paecilomyces sp.*, es un controlador biológico y también elimina contaminación por cromo y las *bacterias mesófilas aerobias* se usan como un indicador para mirar la calidad de los alimentos.

---

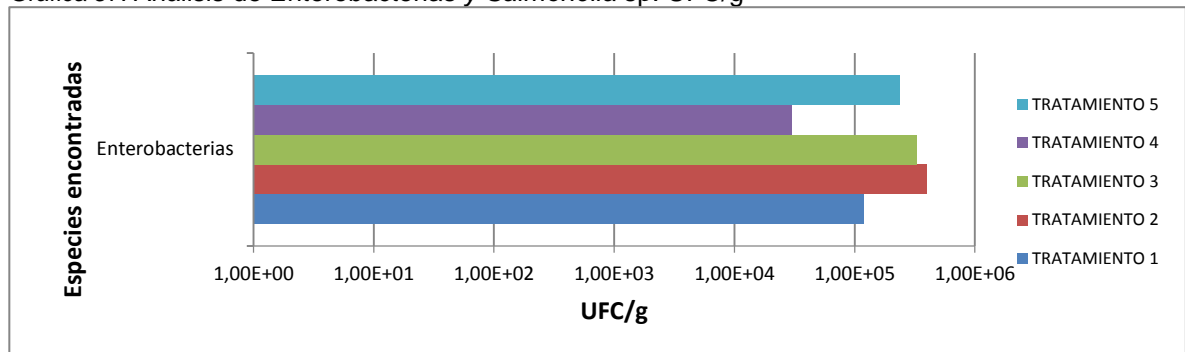
<sup>102</sup> CHAVEZ, Mónica. Producción Trichoderma sp. y Evaluación de su efecto en el cultivo de Crisantemo. Bogotá, 2006, 113. Trabajo de grado (Microbióloga Industrial). Universidad Pontificia Javeriana. Facultad de ciencias.

<sup>103</sup> FERNANDEZ, Orietta. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. En: Manejo Integrado de Plagas. Vol., 62. (2001); p 96-100.

<sup>104</sup> CALIDAD MICROBIOLOGICA. Análisis Microbiológico de Levaduras.

<sup>105</sup> PEDRAZA, Raúl. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. En: Revista Corpoica –Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Vol., 11 (2010); p. 155-164.

Gráfica 37. Análisis de Enterobacterias y *Salmonella* sp. UFC/g



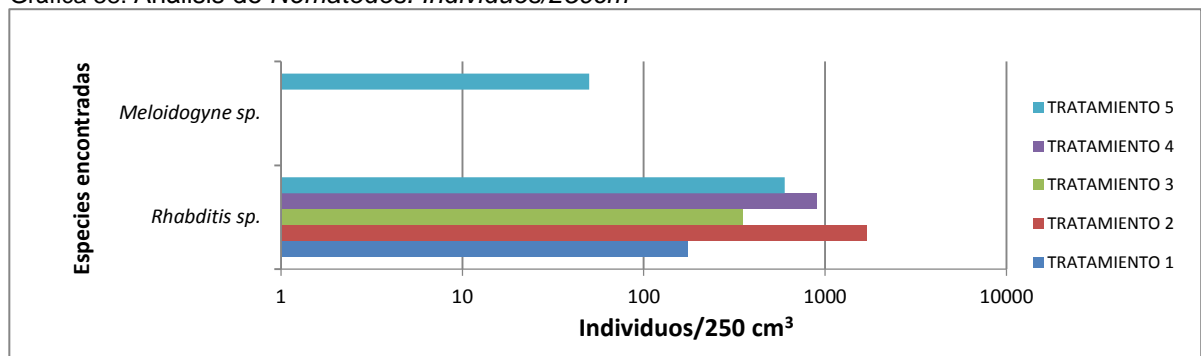
Fuente: Dr. Calderón LABS.

Según la gráfica 37 se muestran las unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo en el abono, las enterobacterias están presentes en los abonos obtenidos de los cinco tratamientos, por ello es necesario elegir el que contiene menor cantidad de estos microorganismos, debido a que estas bacterias según Morales<sup>106</sup> adquieren rápidamente resistencia a antibióticos, en este caso serían los tratamientos 1, 4 y 5. Aquí específicamente no es de preocuparse ya que el abono no va a ser para ningún cultivo para la alimento humano simplemente es para abonar jardines.

En cuanto a la *Salmonella* sp. hay ausencia de ésta especie en 25 g, según lo estipula norma debe haber ausencia de *Salmonella* sp. debido a que ésta es responsable de muchas enfermedades, con esto se evidencia que se cumple lo establecido con la norma.

<sup>106</sup> MORALES, Gloria. Enterobacterias aisladas en un centro hospitalario de la ciudad de Valledupar y frecuencia de betalactamasas de espectro extendido y betalactamasas inducibles. En: Biocencias. Vol., 6, No 2. (2011) p. 33-40.

Gráfica 38. Análisis de *Nematodos*. *Individuos/250cm<sup>3</sup>*



Fuente: Dr. Calderón LABS.

A partir de la gráfica 38 se puede observar que en todos los tratamientos se evidencia la presencia de la especie *Rhabditis*, en unos hay más individuos que en otros; en cuanto a la especie *Meloidogyne sp.*, solo está presente en el tratamiento 5, esto pudo deberse a que alguno de los residuos usados en este tratamiento se habían contaminado de éste *nematodo* fitoparásito en diversos cultivos, pero en este caso no es significativo debido a que la concentración es baja y además de ello, según Gallegos, Cepeda, & Hernández<sup>107</sup>, el *Rhabditis sp.* es un *nematodo* de vía libre posible controlador de *Meloidogyne sp.* estos investigadores encontraron dentro del estudio que entre las especies de nematodos controladores del *nematodo Meloidogyne* que parasita los cultivos se encuentra el *Rhabditis sp.* como un controlador biológico del *Meloidogyne*, por lo cual no es peligroso usar el compost obtenido en este tratamiento.

También se identifica presencia de *Pratylenchus sp.* y *Criconea sp.*, en cuanto a estos organismos, la cantidad de individuos en 250 cm<sup>3</sup> es menor a 1 en todos los tratamientos.

<sup>107</sup> GALLEGOS, CEPEDA, & HERNÁNDEZ. Microorganismos benéficos asociados a *Meloidogyne* incógnita (Kofoid y White) Chitwood en Guayabo (*Psidium guayaba* L.) de Calvillo, Aguascalientes, México. En: Revista Mexicana de Fitopatología. Vol., 27 (Nov, 2009); 7p.

En general a partir de la caracterización física, química y microbiológica realizada a las muestras de compost con el fin de ver su potencialidad como abono orgánico conforme a la norma NTC 5167 para abonos orgánicos se determina que los tratamientos cuatro y cinco cumplen a cabalidad los parámetros establecidos en la norma y por tanto son los que mejor respondieron a los métodos usados, en este caso por el uso de microorganismos eficientes (EM), que según lo discutido anteriormente en cada parámetro medido, hizo que las propiedades del abono obtenido fueran mejores en comparación con los otros tratamientos, esto en cuanto al contenido de carbono orgánico oxidable total, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), contenido de nitrógeno total, relación C/N, K y P.

En cuanto a la caracterización microbiológica cabe destacar que las especies encontradas en la caracterización son de vital importancia por tener propiedades claves para el desarrollo de un buen abono y su vez para acelerar la degradación de la materia orgánica como *Penicillium* sp. Asimismo es importante resaltar el análisis de Enterobacterias y *Salmonella* sp. que muestra la importancia de seleccionar el tratamiento que tenga menor cantidad de enterobacterias debido a lo anteriormente citado, Morales<sup>108</sup> dice que éstas pueden generar resistencia a antibióticos, de acuerdo con lo anterior se podrían seleccionar el tratamiento 1, 4 o 5. Esto confirmaría que se tomó una buena decisión al seleccionar el tratamiento 5.

Con respecto al análisis de nematodos, siendo consecuentes se debe seleccionar el tratamiento con mayor cantidad de *Rhadbitis* sp. debido a que como ya se había mencionado, Gallegos, Cepeda, & Hernández<sup>109</sup> dicen que es un controlador de *Meloidogyne* sp. por ello se podrían elegir los tratamientos 4 y 5.

---

<sup>108</sup>MORALES, Gloria. Enterobacterias aisladas en un centro hospitalario de la ciudad de Valledupar y frecuencia de betalactamasas de espectro extendido y betalactamasas inducibles. En: Biocencias. Vol., 6, No 2. (2011) p. 33-40.

<sup>109</sup> Ibid., p.1

### 6.3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL LIXIVIADO OBTENIDO EN PLANTA PILOTO COMO ABONO LÍQUIDO A PARTIR DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA PARA ABONOS ORGÁNICOS NTC 5167

Se realizaron los respectivos análisis de laboratorio que exige la norma, clasificando este lixiviado como un abono líquido, los parámetros que se determinaron son los establecidos en la tabla 8, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Parámetros caracterizados del lixiviado como abono líquido.

PARAMETROS A CARACTERIZAR SEGÚN NTC 5167	VALOR EN g/L
Contenido orgánico oxidable total	21,80
Sólidos insolubles en H <sub>2</sub> O	0,10
Contenido total de nitrógeno	0,40
Contenido de fósforo total	0,004
Contenido de potasio total	0,30
Calcio total	0,10
Magnesio total	0,005
Cobre	0,001
Manganeso	0,001
Hierro	0,04
Zinc	0,001
Sodio	0,07

Fuente: Dr. Calderón LABS.

A partir de la tabla 17 se valoran los datos según lo establecido por la norma. Para el Contenido orgánico oxidable total lo mínimo es 20,00 g/L y se tienen un valor 21,80 g/L por lo cual el valor cumple con lo establecido. Para los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio la norma pide que los tres sumados den un valor de mínimo 40 g/L y de acuerdo a los resultados obtenidos no alcanza a este valor (0,704 g/L) es mucho menor.

En cuanto a los otros parámetros no están especificados pero se observa que el contenido de Calcio, Magnesio, Manganeso, Cobre, Hierro, Zinc y Sodio es mínimo, lo cual quiere decir que este lixiviado generado no tiene las óptimas

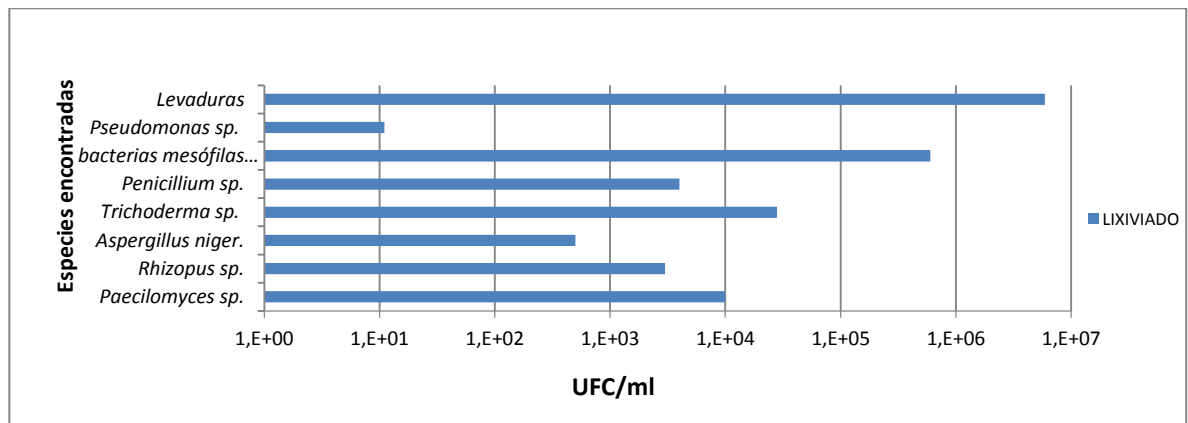


condiciones para clasificarlo como abono líquido. Aunque no es perjudicial o dañino ya que no contiene ninguno de los metales pesados evaluados (Cadmio, Mercurio, Niquel y Plomo), tampoco aporta un contenido nutricional significativo para ser aplicado a las plantas.

### 6.3.3.1 ANALISIS MICROBIOLOGICO DEL LIXIVIADO OBTENIDO EN PLANTA PILOTO COMO ABONO LÍQUIDO

De acuerdo a los resultados que entrego el laboratorio se presentan: Análisis Microbiológico de abonos orgánicos (ver gráfica 39), Análisis de Enterobacterias y *Salmonella* sp. (Ver gráfica 40) y Análisis de Nematodos (ver gráfica 41).

Gráfica 39. Análisis Microbiológico de abonos orgánicos. UFC/ ml



Fuente: Dr. Calderón LABS.

Según la gráfica 39 de acuerdo al análisis realizado en el abono sólido se puede ver que en el lixiviado líquido están presentes los mismos microorganismos que en el abono sólido, los cuales tienen características que ayudan a mejorar los suelos, aunque están en menor concentración es importante aclarar que todos ellos son benéficos. No obstante las Levaduras se hallan en una concentración elevada en ésta muestra líquida, esto pudo deberse a que a los tratamientos 4 y 5 se les añadió EM y al agregar agua en cada riego pudo haberse lixiviado parte de los EM

lo cual explicaría la alta presencia de levaduras en la muestra líquida, debido a que según Fundases<sup>110</sup> los principales componentes de los EM son las Bacterias Fototróficas, Bacterias Ácido Lácticas y las Levaduras.

Otra de las diferencias presentadas en los resultados fue la presencia de *Rhizopus sp.* únicamente en los lixiviados, esto debido a todos los lixiviados generados de la descomposición de la materia orgánica dispuesta en las pilas llegaban a un caneca y permanecían recolectados lo cual influyó para que este moho se desarrollara en la superficie del líquido.

Tabla 18. Análisis de Enterobacterias y *salmonella sp.*

NOMBRE CIENTIFICO DEL MICROORGANISMO	POBLACIÓN UFC /ml
	LIXIVIADO
Enterobacterias	17 x 10 E 3
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia en 25 ml

Fuente: Dr. Calderón LABS

Según la tabla 18 a partir del Análisis de Enterobacterias y *Salmonella sp.* La población de Enterobacterias que se identificó en el lixiviado es menor que la presente en el abono sólido y se presenta ausencia de *Salmonella* en 25 g.

Tabla 19. Análisis de *Nematodos*.

NOMBRE CIENTIFICO DEL MICROORGANISMO	POBLACIÓN Individuos/250 cm3
	LIXIVIADO
<i>Rhabditis sp.</i>	100
<i>Meloidogyne sp.</i>	< 1
<i>Pratylenchus sp.</i>	< 1
<i>Criconea sp.</i>	< 1

Fuente: Dr. Calderón LABS

<sup>110</sup> FUNDACIÓN DE ASESORIAS PARA EL SECTOR RURAL (FUNDASES). Como actúan los microorganismos eficientes (EM).

Conforme a la tabla 19 en el Análisis de *Nematodos* solo se identifica presencia significativa de *Rhabditis*, ya que de las otras especies hay menos de 1 individuo en 250 cm<sup>3</sup>. Como ya se había mencionado anteriormente *Rhabditis* sp., es controlador de *Meloidogyne* sp., y de otros nematodos lo cual es valioso, aunque en este caso no se necesita debido a que el análisis muestra que no hay presencia de otros nematodos.

De la caracterización física, química y microbiológica realizada al lixiviado producido durante el proceso en la planta piloto, se determinó que no cumple con los parámetros que exige la Norma NTC 5167 para ser catalogado como abono líquido. Sin embargo tampoco es perjudicial para ser aplicado a las plantas o jardines debido a que según el análisis microbiológico no contiene ningún patógeno que pueda atacar o dañar de ninguna forma.

#### 6.4. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR

El diseño que se propone a continuación contendrá el total de residuos que son generados en la Universidad teniendo en cuenta los que fueron usados en la planta piloto, es decir sin incluir los residuos de comida de las cafeterías de la Universidad, se aconseja que estos sean estudiados en otra investigación por cuanto se conoció el comportamiento de los mismos en el montaje probado durante la administración del SIGAUL en el año 2012, en el cual se originaron plagas y vectores, por lo que se decidió abstenerse de incluirlos, ya que se piensa que estos requieren de un tratamiento más especializado.

Retomando lo establecido en la tabla 10, totalizando la cantidad generada de residuos sólidos biodegradables excluyendo los residuos de comida fresca y cocinada, el diseño se planteará para **3306,32 kg/mes** (residuos pasto contrato externo, 1864,80 kg/mes; residuos de jardín hojas, ramas, hojas barrido y pasto

podado, 1300,00 kg/mes; cuncho de café, 141,52 kg/mes), valor al cual se le aumentara un porcentaje de sobre diseño del 20%.

#### 6.4.1 PRETRATAMIENTO

En esta etapa se recibe la materia orgánica a compostar, se realiza previa trituración del material ya que como se había mencionado en el marco teórico el tamaño de partícula es uno de las condiciones esenciales para acelerar el proceso de descomposición. Se realizara con la trituradora de residuos orgánicos que tiene la Universidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el monitoreo de temperatura, humedad y pH. Se evidencia que la fase de descomposición máxima se presenta durante los dos primeras semanas y luego continua una pequeña variación en la temperatura hasta aproximadamente el día 60, por lo cual se aconseja usar tanques plásticos con agitadores de paletas que está formado una paleta plana, que gira sobre un eje vertical (se pueden encontrar agitadores formados por dos y tres paletas). Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud.

Esto se hará durante al menos una semana para así garantizar las condiciones óptimas del compostaje al momento de establecer las pilas, con el fin de regular la estructura y la humedad que es un factor fundamental para garantizar las condiciones del proceso para garantizar las condiciones al montar las pilas y disminuir el tiempo que se obtuvo en los resultados de la planta piloto, ya que

como muestran los resultados, se necesitó esperar hasta el día 16 que fue el mínimo en que el tratamiento 5 alcanzo la humedad y este pudo ser el factor por el cual se pudo haber disminuido la temperatura tan rápidamente.

En primer lugar es necesario determinar el volumen del tanque, para lo cual se necesita conocer el volumen de residuos que se van a disponer en el mismo, que son los residuos de pasto podado, y cuncho de café de las cafeterías (café húmedo), como estos residuos van a durar en el tanque una semana, este se diseña para una generación de residuos semanales, debido a que los jardineros de la universidad podan aproximadamente cada 15 días y el contrato externo es cada 45 días, por lo tanto el tanque se diseñara con un factor de sobre diseño del 20%. Según la tabla 10 se establecen que la cantidad de residuos pasto (contrato externo) es de 466.2 kg/semana; residuos de jardín (hojas, ramas, hojas barrido y pasto podado) es de 325 kg/semana y residuos de café húmedo o cuncho de café es de 35,38 kg/semanales.

Se puede asumir que el pasto podado tiene una densidad aproximada de 180 Kg/m<sup>3</sup> y con este dato se calcula el volumen ocupado por la grama podada.

$$\text{Volumen de pasto podado (m}^3\text{/semana)} = \frac{\text{kg de pasto}}{180 \frac{\text{kg de pasto}}{\text{m}^3 \text{ de pasto}}}$$

$$\text{Volumen de pasto podado (m}^3\text{)} = \frac{791,2 \text{ kg /semana}}{180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{4,396 \text{ m}^3\text{/semana de pasto}}$$

Según la federación nacional de cafeteros el café húmedo (cuncho de café) tiene una densidad de 650 kg/m<sup>3</sup>, con este dato se calcula el volumen ocupado por el café húmedo.

$$\text{Volumen de café húmedo o cuncho de café (m}^3\text{)} = \frac{35,38 \text{ kg/semana}}{650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{0,054 \text{ m}^3\text{/semana}}$$

Entonces:

$$\text{Volumen del tanque (m}^3\text{)} = (4,396 \text{ m}^3\text{/semana de pasto} + 0,054 \text{ m}^3\text{/semana café húmedo}) * 1,2 = \mathbf{5,34 \text{ m}^3}.$$

Así, se opta por adquirir dos tanques, uno de 5 m<sup>3</sup> y el otro de 1 m<sup>3</sup> para un total de 6 m<sup>3</sup>, valor superior al determinado para el volumen del tanque de adecuación. Según los precios del mercado se aconseja el tanque marca Ajoover de 5000 litros con tapa y conexiones. Precio: \$1.571.504 IVA incluido, (Ver figura 26). Que presenta las siguientes características: Código: 050313; Color: Azul; Medida: 174 cm de altura x 228 cm de diámetros superior, 175 cm de base; Peso en Kilogramos: 113,6; Rendimiento: 5000 litros.

Figura 26. Tanque Ajoover de 5000 litros



Fuente: Precios Ajoover

Para el tanque de 1000 litros, se aconseja uno marca Acuaviva de Precio: \$ 194.895 IVA incluido, el cual presenta las siguientes características. Código: 050324; Color: Negro; Medida: 136 cm de altura x 125 cm diámetro superior x 91 cm diámetro inferior; Peso en Kilogramos: 20; Rendimiento: 1000 litros. (Ver figura 27).

Figura 27. Tanque Acuaviva de 1000 litros



Fuente: almacenes Canaima

Por lo tanto las dimensiones ancho y largo del lugar de adecuación de material en metros debe ser: (la suma de los diámetros mayores de los dos tanques + 15 cm

de espacio entre los dos tanques) = 2,66m + 1,25 m + 0,15m = 4,06 m redondeando **4,1 m de largo y 4,1 m de ancho.**

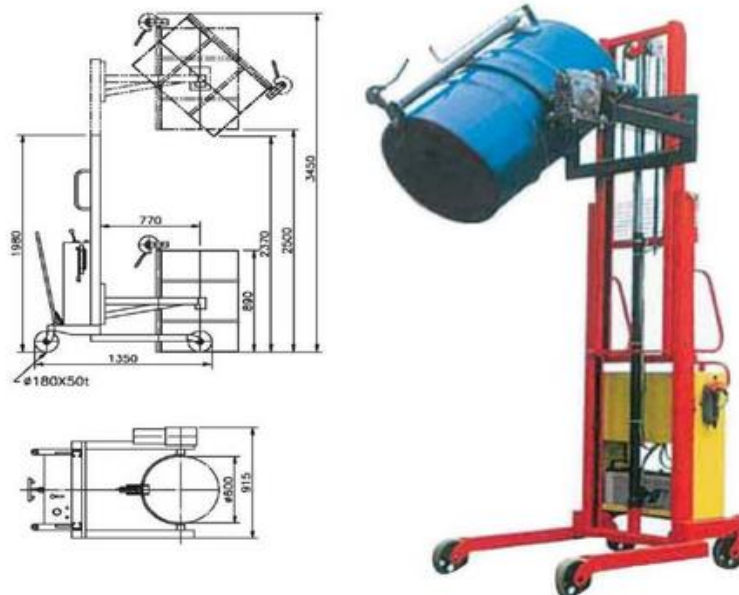
*Área del lugar de adecuación del material a compostar = ancho \* largo*

*Área del lugar de adecuación del material a compostar = 4,1 m \* 4,1 m = **16,81 m2.***

La altura del lugar de adecuación de material en metros debe ser: la altura mayor de los dos tanques + 15 cm de espacio = 1,74 m + 0,15 = 1,89 m redondeando **1,90 m de altura.**

Este diseño es el que se plantea en el trabajo por ser el más económico. Sin embargo otra opción podría ser una maquina semi-eléctrica giratoria que permita la mezcla de los residuos. A continuación se muestra en la figura 28 dicha máquina que puede agitar 300 kg de carga, por lo cual sería una buena opción contemplarlo si se llega a contar con un alto presupuesto.

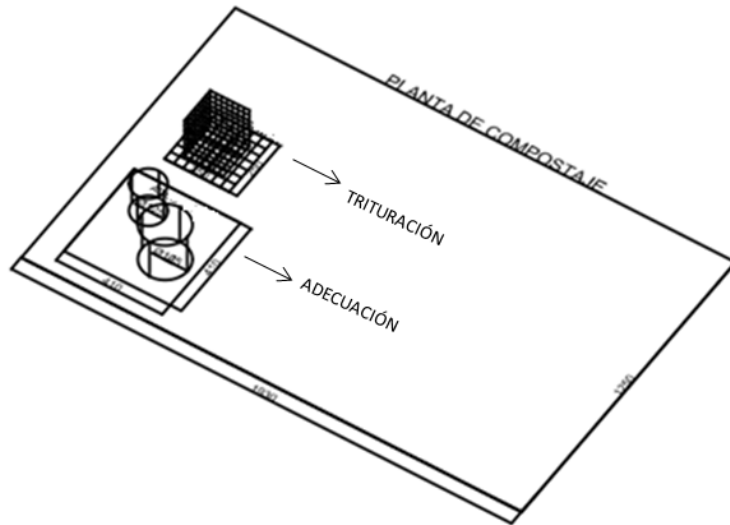
Figura 28. Sotr - 03/2400 (carga: 300 kg)



Fuente: Alibaba.com

La zona de adecuación del material y el área de trituración, se muestra en la figura 29.

Figura 29. La zona de adecuación del material y la zona de trituración.



Fuente: Propia.

#### 6.4.2 TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST

De acuerdo a los resultados físicos y químicos se establece que los tratamientos 4 y 5 cumplen con todos los parámetros a caracterizar que exige la norma NTC 5167 para abonos orgánicos, mientras los otros tratamientos no cumplen la totalidad del valor que pide la norma, por lo tanto con respecto a esta evaluación física y química cualquiera de estos dos tratamientos (4 y 5) podría ser elegido para implementar en la Universidad Libre Sede Bosque Popular.

Con respecto al análisis microbiológico se puede observar que al igual que en la parte físico química los tratamientos 4 y 5 presentaron los mejores resultados en cuanto a la mayor presencia de microorganismo benéficos y menor contenido de Enterobacterias.



Igualmente en cuanto al monitoreo realizado de temperatura, humedad y pH, se determina que los mejores comportamientos se vieron en los tratamientos 4 y 5, ya que alcanzaron la mayor temperatura y se mantuvo durante más tiempo; asimismo alcanzaron el porcentaje mínimo del rango óptimo de humedad en menor tiempo que en los otros tratamientos.

De acuerdo con lo anterior se procede a plantear el diseño de las pilas estableciendo que cualquiera de estos dos tratamientos puede ser adaptado para el sistema de compostaje de la Universidad Libre Sede Bosque Popular, cabe recordar que los dos estuvieron sometidos a las mismas condiciones excepto porque en uno se usó tubería perforada de 4" de diámetro y en el otro manguera perforada de 2" de diámetro. Por lo cual se optara por la mejor opción económicamente. Para la presente propuesta se optara por seleccionar el tratamiento 5 en el cual se obtuvo la mayor cantidad de compost y finalmente es clave para determinar cuál será el más eficiente.

#### 6.4.2.1 ÁREA DE ALMACENAMIENTO DEL COMPOST OBTENIDO

Según los tratamientos usados en la planta piloto asumiendo que se usa el tratamiento 5 en el cual se obtuvo la mayor cantidad de compost, equivalente al 53,83% de la mezcla de residuos orgánicos que fue usada, información mostrada en la gráfica 19.

Entonces, asumiendo este valor se determina la cantidad de compost que se obtendría en un mes usando 3306,32 kg de residuos que es la cantidad que se genera en este lapso de tiempo. A este valor se le va a aumentar el 30% como factor de sobre dimensionamiento para el área.

Asumiendo que se usan sacos (cuadrados) tejidos con cintas de polipropileno de alta tenacidad que permiten alta resistencia y estabilidad, de 60 cm de largo y 60 cm de ancho, que resisten hasta 50 kg por saco. Se determina el número de sacos que se necesitan y el área de trabajo.

*Cantidad de compost obtenido en un mes según el tratamiento 5* =  $(3306,32 * 0,5383) =$   
**1779,79 kg de compost**

*Cantidad de compost obtenido en un mes según el tratamiento 5 + sobre dimensionamiento 30%* =  $1779,79 \text{ kg de compost} * 1,30 =$  **2313,73 kg de compost**

*Área de un saco* = ancho \* largo

*Área de un saco* =  $0,6 \text{ m} * 0,6 \text{ m} =$  **0,36 m<sup>2</sup>.**

*Número de sacos* = *Cantidad de compost / Resistencia en kg de un saco*

*Número de sacos* =  $\frac{2313,73 \text{ kg de compost}}{50 \text{ kg}} = 46,28 \text{ sacos redondeando} =$  **47 sacos**

*Área del lugar para el almacenamiento del compost* = *Área de un saco \* Número de sacos*

*Área del lugar para el almacenamiento del compost* =  $0,36 \text{ m}^2 * 47 \text{ unid} = 16,92 \text{ m}^2$   
redondeando = **17 m<sup>2</sup>.**

Esta área se distribuirá en unas dimensiones de: **2,2 m de ancho por 8 m de largo.** (Área aproximada 17,6 m<sup>2</sup>).

#### 6.4.2.2 DOSIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)

Conforme a lo establecido en el numeral 6.2.1 se determina la dosificación de la misma manera, por lo tanto para cada pila se deberá aplicar:

Se aplica 5 litros de EM a 1 Tonelada de material (Durante todo el proceso)

1 Pila —————> 3306,32 kg material

3306,32 kg = 3,30632 Ton

Se aplica 16,53 L por cada pila (3,30632 Ton) en todo el proceso, distribuidos en 8 tomas de 2,07 L de EM cada semana.

1 L de EM se diluye en 9 L de AGUA, así:

2,07 L de EM se mezclan en 18,63 L de Agua

Entonces:

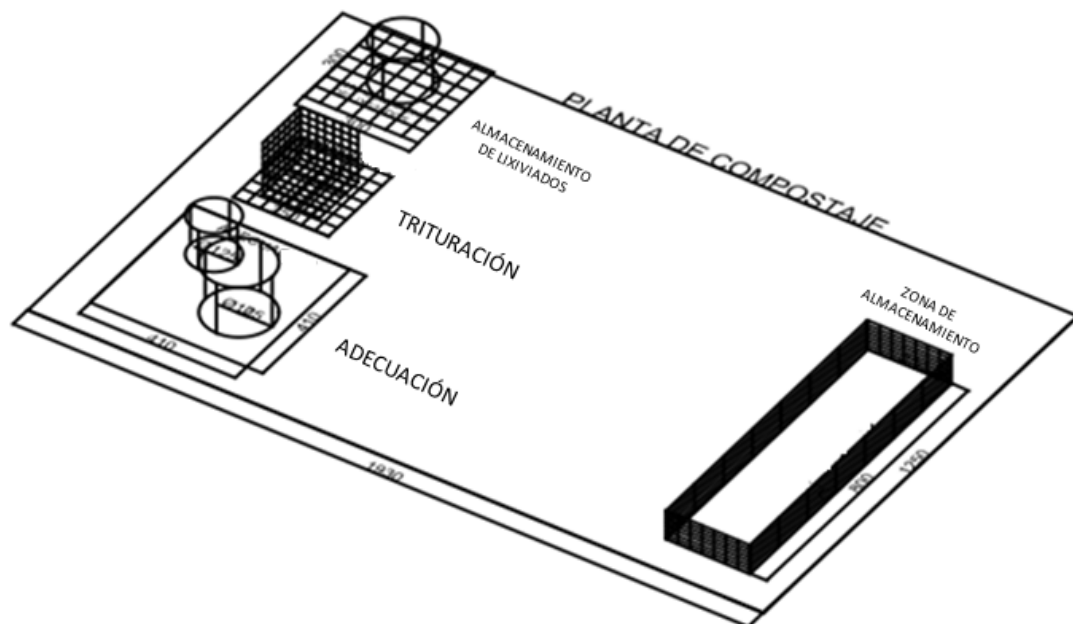
POR CADA PILA SEMANALMENTE SE DEBERÁN SUMINISTRAR: 2,07 L de EM 18,63 L de Agua
---

Por lo tanto se deberán aplicar 20,7 L de mezcla (2,07 L de EM y 18,63 L de Agua) a cada pila semanalmente. Para un total de 165,69 L de mezcla (16,65 L de EM y 149,04 L de agua) aproximado a 165,70 L en las 8 primeras semanas del proceso de compostaje.

Con el fin de evitar que los EM se lleguen a dañar por tiempo de caducidad, se recomienda comprar un frasco de 1 galón cada dos semanas.

En la figura 30 se muestra el área de adecuación, trituración, almacenamiento del material y almacenamiento de lixiviados.

Figura 30. Vista área de almacenamiento del compost, almacenamiento de lixiviados, adecuación y trituración del material.



Fuente: Propia

#### 6.4.2.3 DISEÑO DE LAS PILAS DE COMPOST

Para los cálculos de las pilas de compost se tuvo en cuenta los residuos que se generan en la Universidad y que se analizaron en la planta piloto. De los resultados obtenidos que se presentan en la tabla 10, se seleccionan los siguientes residuos para compostar:

Residuos pasto (contrato externo), 1864,80 kg/mes; Residuos de jardín (hojas, ramas, hojas barrido y pasto podado), 1300 kg/mes; Cuncho de café o café húmedo, 141,52 kg/mes.

A continuación se va a determinar el volumen total de los residuos que se dispondrán en la pilas, por lo cual se calcula el volumen de los dos tipos de residuos según la densidad de los mismos, así como se hizo para determinar el tanque de adecuación.

Ya se había dicho que el pasto podado tiene una densidad aproximada de 180 kg/m<sup>3</sup>:

$$\text{Volumen de pasto podado (m}^3\text{/mes)} = \frac{\text{kg de pasto}}{180 \frac{\text{kg de pasto}}{\text{m}^3 \text{ de pasto}}}$$

$$\text{Volumen de pasto podado (m}^3\text{)} = \frac{3164,8 \text{ kg /mes}}{180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{17,582 \text{ m}^3\text{/mes}}$$

Ya se había manifestado que el café húmedo (cuncho de café) tiene una densidad de 650 kg/m<sup>3</sup>:

$$\text{Volumen de café húmedo o cuncho de café (m}^3\text{)} = \frac{141,52 \text{ kg/mes}}{650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{0,218 \text{ m}^3\text{/mes}}$$

Entonces:

El volumen total de residuos a compostar en m<sup>3</sup>/mes con un factor de sobre diseño del 10%, será:

*Volumen total de residuos a compostar (m3/mes) = (17,582 m3/mes + 0,218 m3/mes) \* 1,10 = 19,58 m3/mes.*

$\text{Volumen total de residuos a compostar en 4 meses} = ((17,582 \text{ m3/mes} + 0,218 \text{ m3/mes} * 4) * 1,10) = \mathbf{78,32 \text{ m3}}$
---

Se determina el número de pilas de compostaje, asumiendo que el proceso tarda 16 semanas (4 meses) es necesario rotar las pilas después de los cuatro meses que termina el proceso. Estableciendo el volumen de cada pila, así: 2,00 m de ancho, 1,20 m de altura y 8,00 m de largo.

$$\text{Volumen de una pila} = 2,00 \text{ m} * 1,20 \text{ m} * 8,00 \text{ m} = 19 \text{ m}^3$$

$$\text{Número de pilas (m}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen de residuos generados en 4 meses}}{\text{Volumen de cada pila de maduración}}$$

$$\text{Número de pilas (m}^3\text{)} = \frac{78,32 \text{ m}^3}{19 \text{ m}^3} = 4,12 \text{ redondeando} = \mathbf{4 \text{ pilas}}$$

*Área ocupada por las pilas de compost = (ancho \* largo \* número de pilas) + (espacio entre cada pila \* largo de las pilas \* (número de pilas – 1)).*

$$\text{Área ocupada por las pilas de compost} = (2 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 4) + (0,5 \text{ m} * 8 \text{ m} * (4-1)) = \mathbf{76 \text{ m}^2}$$

Área de trituración = aquí se proyecta ubicar la máquina trituradora de residuos que tiene la Universidad, que tiene aproximadamente dimensiones de 2,0 m x 2,0 m para un total de 4 m<sup>2</sup>.

Área para el almacenamiento de lixiviados = como lo dice el numeral 6.4.2.6 este área se contemplan para poner el tanque que recirculara los lixiviados y la bomba, por lo cual se toman unas dimensiones de 3 m x 3 m.

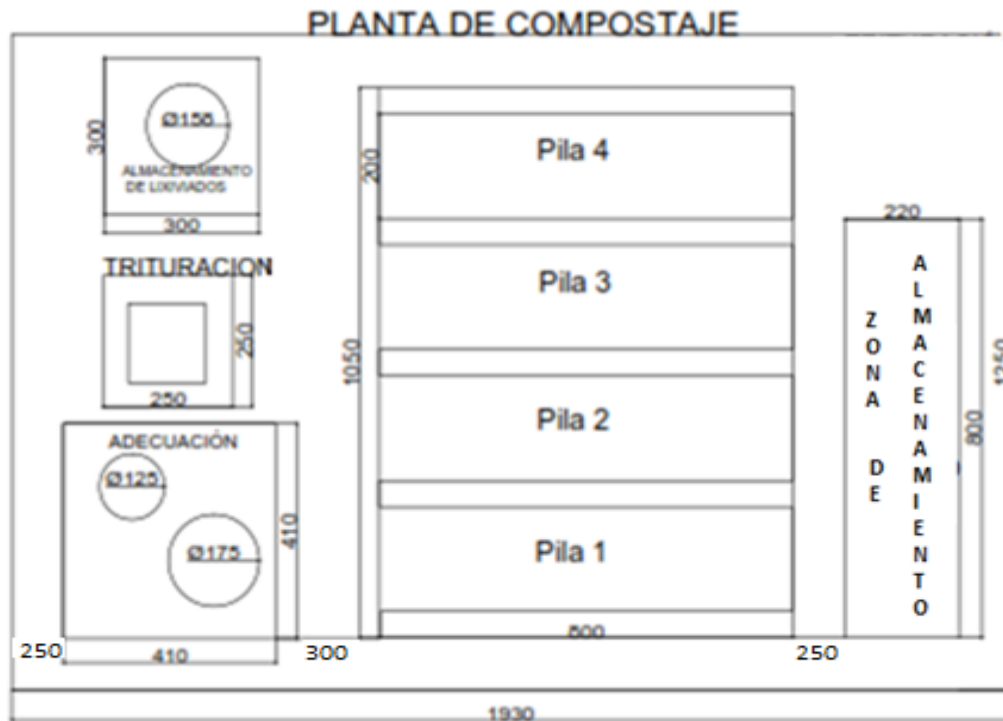
Área total del sistema de compostaje = área para almacenamiento del compost + área del lugar para adecuación del material a compostar + área ocupada por las

pilas de compost + Área de trituración + Área para el almacenamiento de lixiviados.

**Área total del sistema de compostaje** =  $17,6 \text{ m}^2 + 16,81 \text{ m}^2 + 76,00 \text{ m}^2 + 4,00 \text{ m}^2 + 9,00 \text{ m}^2 = 122.81 \text{ m}^2$  aproximado a **123 m<sup>2</sup>** (esto sin incluir los espacios para facilitar el paso del operario y del material).

A continuación se muestra un modelo de la planta real. (Ver Figura 31 y 32)

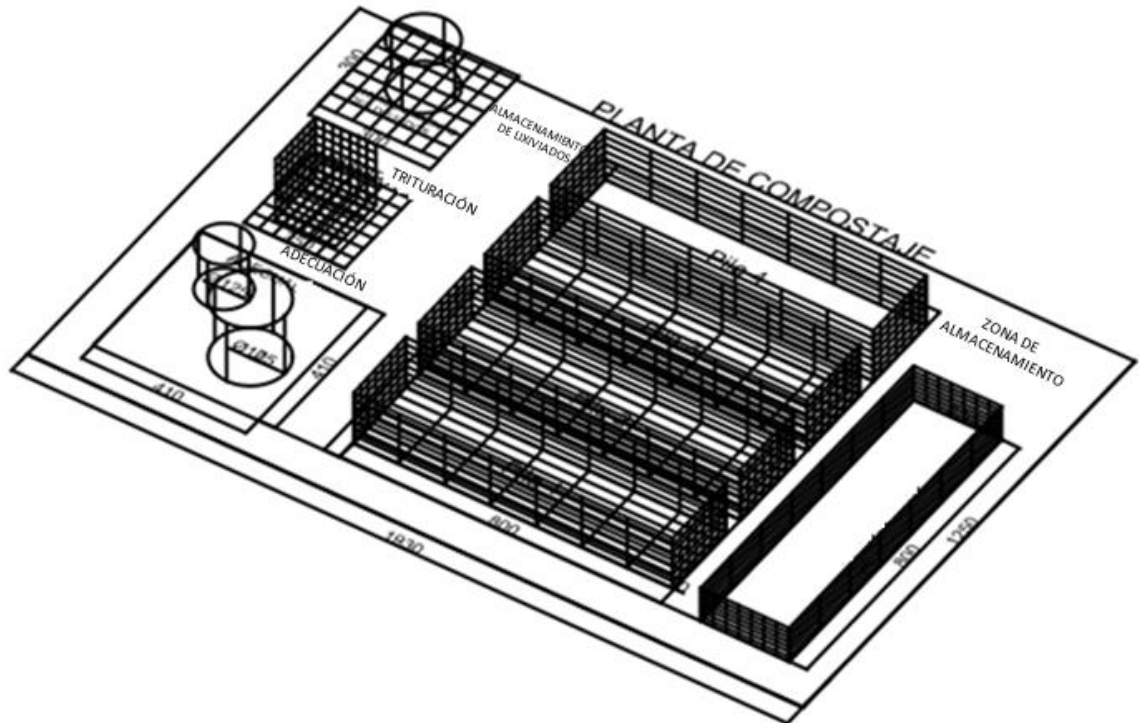
Figura 31. Vista superior de la planta de compostaje



Fuente: Propia.

El diseño mostrado en la figura 31 se realizó en AutoCAD, las dimensiones están expresadas en centímetros (cm), allí se toman espacios entre cada área de la planta con el fin de facilitar el tránsito dentro de ella, los valores de las áreas especificadas anteriormente se mantienen como se obtuvieron, pero al sumarle los espacios necesarios, el área del sistema quedaría: 19,3 m de ancho x 12,5 m de largo.

Figura 32. Vista lateral de la planta de compostaje.



Fuente: Propia.

En la figura 32 se muestra la planta desde la vista lateral, las dimensiones están expresadas en centímetros (cm), las alturas son las mismas que se especifican para cada tanque y para las pilas de compostaje.

#### 6.4.2.4 RIEGO PARA GARANTIZAR HUMEDAD

De acuerdo con lo planteado en el numeral 6.2.4 en donde se explica paso a paso como determinar la cantidad de agua a utilizar, se debe usar el balance de agua planteado por Worell<sup>111</sup> con el fin de garantizar el rango óptimo de humedad, asimismo cabe resaltar que a lo largo del proceso, el lixiviado que sea generado se recirculará, por lo tanto el consumo de agua se limitara a la primera dosis según la humedad que contengan los residuos que se dispongan en las pilas.

<sup>111</sup> WORRELL, William and VESILIND, P. Arne. Solid Waste Engineering. Second Edition. United States of America: CENGAGE Learning, 2012, 2002. 427p.

También es necesario tener en cuenta el volumen de microorganismos eficientes que se le adicionara a las pilas el cual también ayudara a mantener la humedad en las mismas.

Entonces el consumo de agua se limitara únicamente a la dosis inicial, teniendo en cuenta que según lo evaluado en la planta piloto la mezcla de estos residuos llega aproximadamente con una humedad del 15%, según el balance de Worell el agua necesaria por pila, asumiendo que se dejaran con una humedad del 40% con el fin de garantizar las condiciones óptimas, teniendo en cuenta que en adelante solo se usara el lixiviado producido y la dosis de microorganismos eficientes que sea aplica, será:

$$M_p = 40 = \frac{(15 * 3,30632 \text{ Ton}) + 0,416 \text{ Ws}}{3,30632 \text{ Ton} + 0,00416 \text{ Ws}}$$

$W_s$  = Agua que debe ser añadida en galones.

Entonces  $W_s = 331.16$  galones

1 galón = 3,785 L

$W_s = 1253,44 \text{ L}$

Según los resultados obtenidos en la planta piloto:

1000 g o 1 kg de residuos retienen 0,664 L de agua

Entonces 3306,32 kg pueden retener 2195,40 L de agua, así con base al agua que se va agregar (1253,44 L) se garantizara la mínima generación de lixiviados, únicamente lo necesario para mantener el rango de humedad.

Con el fin de determinar el valor monetario del consumo de agua se multiplica la cantidad de agua que será añadida por el valor del m<sup>3</sup> de agua según el recibo de acueducto y alcantarillado en la Universidad con la nueva tarifa del 2014.

$$\text{AGUA} = 1253,44 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 1,253 \text{ m}^3 / \text{pila} * 4 \text{ pilas} = 5,012 \text{ m}^3 / \text{planta}$$



Agua de mezcla para EM (según numeral 6.4.2.2) =  $149,04 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,149 \text{ m}^3 /$   
pila \* 4 pilas = 0,596 m<sup>3</sup> / planta

TOTAL AGUA NECESARIA EN CUATRO MESES = 5,012 m<sup>3</sup> / planta + 0,596 m<sup>3</sup> / planta  
= 5,608 m<sup>3</sup>/ planta.

La tarifa a 2014 del m<sup>3</sup> de agua en la Universidad Libre sebe Bosque Popular es de  
**\$11.381,3** (pesos)

$$\frac{11.381,3 \text{ pesos}}{1 \text{ m}^3} * 5,608 \text{ m}^3 / \text{planta} = \mathbf{63.826,33 \text{ pesos} / 4 \text{ meses}}$$

Considerando que cada pila está diseñada para contener la totalidad de los residuos generados en un mes y la planta se diseña para 4 pilas debido a que el proceso tarda cuatro meses, este será el valor en pesos que se consumirá con cuatro meses de residuos (planta a tope).

#### 6.4.2.5 ADECUACIÓN DE TUBERIA O MANGUERA PERFORADA

Según los resultados obtenidos, el diseño de la planta real se hizo con base a lo evaluado en el tratamiento 5 sin embargo por motivo de costos se podrá usar tubería de 4" o 2" teniendo en cuenta que la cantidad de compost obtenido en el tratamiento 4 y 5 no es muy diferente, por lo tanto a continuación se presentan las dos opciones. Dependiendo de que si se usa un solo tubo se deberá poner una de 4" y si se usan 2 tubos deberá ser de 2" cada uno.

De acuerdo al numeral 6.2.2.1, se usó una tubería de 1,80 m de largo y 4" de diámetro puesta en diagonal por cada pila de 1,75 m de largo y dos mangueras cada una de 2" de diámetro en una pila de 1,75 m de largo.

Entonces, en la planta real teniendo en cuenta que las pilas serán de 8 m de largo se aconseja colocar 4 tubos de 4" de diámetro, uno cada 2 m con el fin de garantizar aireación natural manteniendo las mismas condiciones que se usaron

en la planta piloto en cuanto a la altura del piso a la tubería del piso, con respecto a la dirección se recomienda girar un poco las tuberías con el fin de no someterlas en dirección Noreste (dirección predominante del viento con mayor velocidad del mismo) cambiándola a dirección Este para disminuir la cantidad de entrada de aire, debido a que este factor pudo haber influido en la disminución de la temperatura.

Por el contrario si se decide por adecuar dos tuberías o mangueras de 2" de diámetro cada 2 m, también deberán mantenerse las mismas condiciones que se evaluaron en la planta piloto en cuanto a la altura del piso a la tubería del piso, con respecto a la dirección se recomienda lo mismo que se dijo anteriormente (cambiar a dirección Este).

#### 6.4.2.6 BOMBA RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADO

Como ya se había expresado anteriormente, el agua que se genera en cada una de las pilas se recolecta y se recircula para mantener las condiciones de humedad durante el proceso de descomposición de los residuos. Se mantendrán los mismos canales diseñados en la planta piloto modificando su longitud de acuerdo a la longitud de las pilas. A continuación se presenta el diseño de la bomba basados en libro Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado, segunda edición. Ricardo López Cualla.

De esta forma se opta por tomar el valor que se determinó experimentalmente en la planta piloto 30 L / semana por 3,6 Ton de residuos. Así, por cada pila de 3,30632 Ton se producirán:

<p>LIXIVIADO QUE SE PRODUCIRA (4 meses): UNA PILA: <math>27,553 \text{ L / semana} \times 15 \text{ semanas} = 413,295 \text{ L / todo el proceso}</math> CUATRO PILAS: 1653,18 L / en todo el proceso</p>
--

Entonces, en toda la planta se producirán aproximadamente 1653,18 L de lixiviado/ en todo el proceso (15 semanas de generación), posteriormente se toma este valor para diseñar la bomba que recirculara el lixiviado sobre este se diseña con un sobre dimensionamiento del 100% de lo que se generara.

El caudal que usara con un 100% de sobre dimensionamiento será:

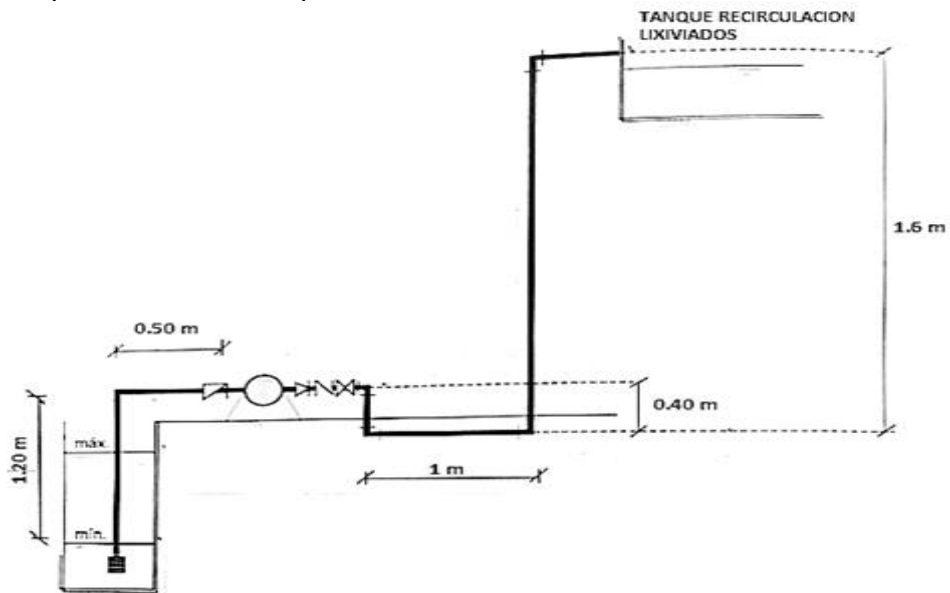
$$Q \text{ lixiviado} = \frac{3306,36 \text{ L}}{15 \text{ semanas}} = \frac{220,424 \text{ L}}{\text{semana}}$$

$$Q \text{ lixiviado} = \frac{220,424 \text{ L}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = \mathbf{0,00036 \text{ L/s}}$$

$$Q \text{ lixiviado} = \mathbf{3,6E-7 \text{ m}^3/\text{s}}$$

La figura 33 muestra el esquema del bombeo con el fin de diseñar la bomba, contiene la altura estática de succión e impulsión.

Figura 33. Esquema del bombeo para recirculación de lixiviados.



Fuente: López Cualla (adaptada).

# DISEÑO BOMBA

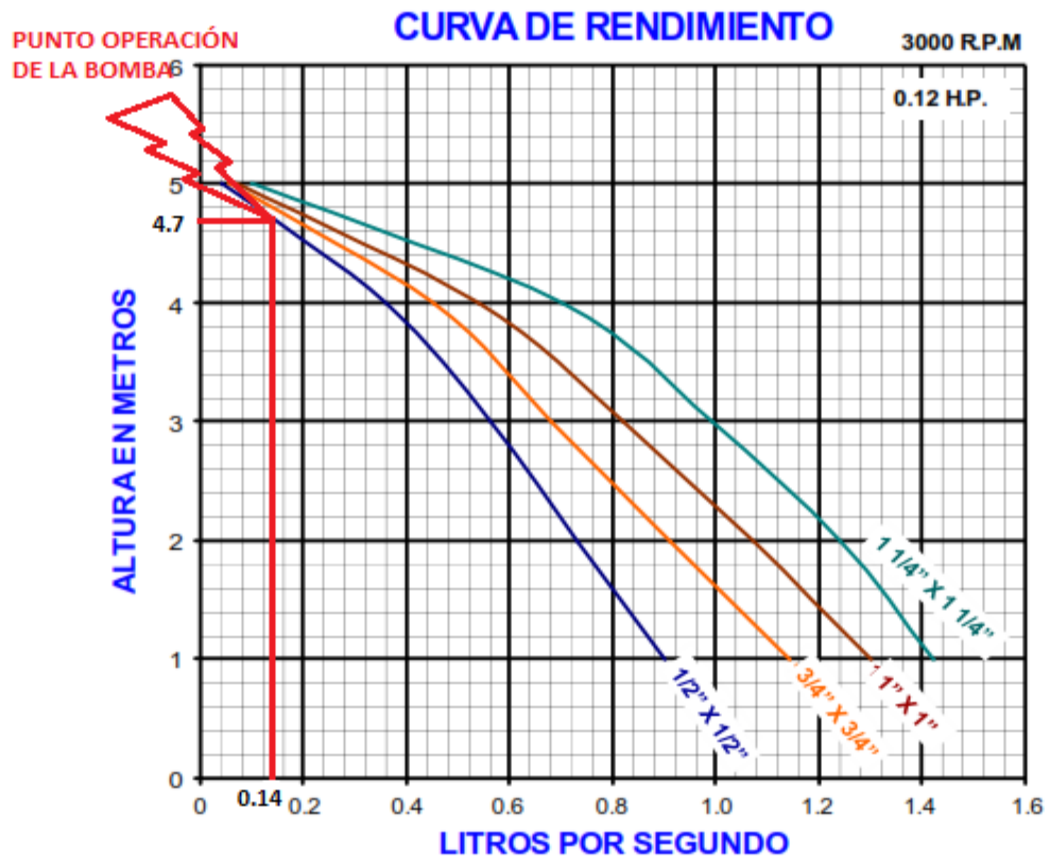
<b>CAUDAL MAXIMO DIARIO:</b>	3,6E-07	m3/s	=	0,00036	l/s
<b>PERIODO DE DISEÑO:</b>	5	Años			
% utilización bomba día:	0,0025		=	0,25	%
Número horas bombeo día:	0,06	Horas	=	86,4	minutos
<b>Q diseño:</b>	0,000144	m3/s	=	<b>0,144</b>	<b>l/s</b>
Diámetro tubería impulsión:	0,0001744	m			
Diámetro tubería impulsión:	0,007	pulgadas	diámetro comercial mayor	0,50	pulgadas = 0,013 m
Velocidad en la tubería impulsión:	1,137	m/s	VALOR DEBE ESTAR ENTRE 1.0 Y 3.0 m/s		
Diámetro tubería succión:	0,50	pulgadas	diámetro comercial mayor	0,50	pulgadas = 0,013 m
Velocidad en la tubería succión:	1,137	m/s	MINIMA 0,45 m/s		
Sumergencia:	0,132	m			
Altura estática de succión:	1,20	m			
Altura estática de impulsión:	1,20	m			
Altura estática total (Hest):	2,40	m			
<b>Perdidas Succión (hfs):</b>	Diámetro	0,5	Pulgadas	=	0,013 m
<b>Longitudes Equivalentes</b>	<b>L.E</b>				
Válvula pie coladera:	3,6	m			
Codo radio largo 90 grados	0,3	m			
Entrada (borda)	0,4	m			
Longitud de tubería recta	1,832	m			
LE TOTAL:	6,132	m			
Usando Ecuación de Hazen William	$Q=0,2785 \cdot C \cdot (D^{2,63}) \cdot ((hf/L)^{0,54})$				
C=	150	PVC			
hf succión:	0,807	m			
<b>Perdidas impulsión (hfi):</b>	Diámetro	0,50	pulgadas	=	0,013 m
<b>longitudes equivalentes</b>	<b>L.E</b>				
Válvula de retención horizontal (tipo pesado):	1,6	m			

Válvula de cortina o compuerta:	0,1	m
Codo radio largo 90 grados	0,3	m
T con cambio de dirección bilateral:	1,0	m
Longitud de tubería recta:	5,6	m
LE TOTAL:	8,6	m
Usando Ecuación de Hazen William	$Q=0,2785 \cdot C \cdot (D^{2,63}) \cdot ((h_f/L)^{0,54})$	
C=	150	PVC
hf impulsión:	1,132	m
Altura de velocidad en la descarga (Vi):	$V_i^2/2g$	
Altura de velocidad en la descarga (Vi):	0,066	m
Altura dinámica total de elevación:	$H_{est}+h_{fs}+h_{fi}+V_i^2/2g$	
<b>Altura dinámica total de elevación Ht:</b>	<b>4,40</b>	<b>m</b>

### SE PROCEDE A SELECCIONAR LA BOMBA CON EL CAUDAL DE DISEÑO Y Ht

La curva de rendimiento de la bomba seleccionada se muestra en la figura 34, los datos de rendimiento se presentan en la tabla 20, finalmente las dimensiones y características se muestran en la figura 35.

Figura 34. Curva de rendimiento de la bomba seleccionada.



Fuente: Bombas Nilo (adaptada)

En la curva se busca el caudal de diseño 0,14 l/s y la altura que le corresponde es 4,7 m, superior a  $H_t$  de 4,40 m, pero es la más cercana.

Tabla 20. Datos de rendimiento de la bomba seleccionada.

**TABLA DE RENDIMIENTO**

MODELO DE BOMBA	MOTOR	R.P.M.	SUCC.	DESC.	ALTURA EN METROS				
					1	2	3	4	5
					LITROS POR SEGUNDO				
CAC -20/12	.12 C.F.	3000	1/2"	1/2"	0.9	0.73	0.56	0.36	0.04
CAC -20/12	.12 C.F.	3000	3/4"	3/4"	1.14	0.91	0.68	0.45	0.06
CAC -20/12	.12 C.F.	3000	1"	1"	1.3	1.07	0.82	0.54	0.07
CAC -20/12	.12 C.F.	3000	1 1/4"	1 1/4"	1.42	1.24	0.99	0.7	0.1

Fuente: Bombas Nilo.

En la tabla 20 se muestran las diferentes curvas de acuerdo al modelo de la bomba, con respecto a la curva que se seleccionó en la tabla se encerró con rojo. El modelo es CAC-120/12; motor 0,12 Hp; R.P.M 3000; diámetro de succión es de ½" y el diámetro de impulsión es de ½". Todo corresponde con los datos planteados en el diseño.

Figura 35. Dimensiones y características de la bomba CAC-120/12.



Fuente: Bombas Nilo.

La figura 35, muestra las dimensiones y características de la bomba elegida CAC-120/12. Se ubica un tanque de 2000 L debido a que el riego se hace semanalmente por lo tanto el tanque está siendo vaciado constantemente y no necesita ser del mismo sobre dimensionamiento de 100% del diseño. Sus dimensiones son: Capacidad (L) 2000; Altura (cm) 141; Diámetro superior (cm) 158; Diámetro inferior (cm) 125 y Peso (kg) 46.4. Este tiene un precio de \$ 451.000. Dentro de la planta esta área se contemplan con un valor de 3 m de ancho x 3 m de largo.

## 6.5 POSTRATAMIENTO

En esta fase se llevan a cabo operaciones para la separación de materiales impropios e igualmente el almacenaje como ya se había descrito anteriormente en el numeral 6.4.2.1.

## 6.6 BENEFICIO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE EN UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR

Inicialmente cabe resaltar la importancia que tiene el compost como abono orgánico, como se mencionaba en el marco teórico, entre las grandes bondades esta:

- Mejorar las propiedades del suelo y suministrar elementos nutritivos a las plantas usando este tipo de abono.
- Además del beneficio de no disponer los residuos en el relleno sanitario evitando que 3,3 toneladas de residuos vayan cada mes al relleno sanitario Doña Juana de Bogotá Colombia.

En la Universidad Libre, implantar un sistema de este tipo traería bastantes beneficios, entre ellos:

- Invertir en la planta de compostaje cerca de un salario mínimo que la Universidad gasta semestralmente en la compra de abonos químicos para los jardines que pueden contaminar las aguas subterráneas y ocasionar otros problemas a las plantas, mientras que el compost no provoca ningún daño perjudicial.

## 6.7 ANALISIS FINANCIERO

Para realizar el análisis financiero se proyectaron los valores del compost obtenido en la planta piloto. Se desarrolló un flujo de caja que muestra los posibles ingresos que se recibirían por la venta del compost, si este se vendiera a \$ 495 cada kg, valor 10% menor de los precios actuales de venta de compost en Fundases Bogotá Colombia, con un incremento anual del 5% en el valor del mismo, los



egresos correspondientes a los costos operación y la inversión fijada en el año 0. El flujo se planteó para tres años mostrando los tres trimestres de producción de compost en el año, el planteamiento se hizo en Excel. Para realizar el flujo de caja se usaron los precios de la tabla 21, están actualizados a los valores del año 2014.

Tabla 21. Precios usados para realizar el flujo de caja.		UNIDAD
<b>COSTOS OPERACIONALES</b>		
Caneca EM 250 L		180.000,00
Bulto de melaza 30 Kg		13.900,00
Saco para empacar compost 50 kg		1.500,00
Agua para riego CADA 4 MESES		63.826,33
Mantenimiento Equipos anual (incremento 5% anual)		5% VALOR EQUIPOS
Tanque para estabilización del material		<b>88.319,95</b>
Tanque para almacenamiento de lixiviados		<b>22.550,00</b>
Maquinaria (Trituradora de residuos)		<b>750.000,00</b>
<b>ACTIVOS</b>		
Trituradora de residuos		15.000.000,00
Pala		28.000,00
Geomembrana		1.200.000,00
Manguera		150.000,00
Tanque para almacenamiento de lixiviados		451.000,00
Tanque para estabilización del material		1.766.399,00
Tubería perforada 4" 8 m de largo		45.000,00
Aspersor	(unidad)	8.000,00
Adición de melaza 0,1 % de los residuos usados		
<b>MANO DE OBRA</b>		
(Incremento del 4%) anual	1 SMLV	616.027,00
Auxilio Transporte		72.000,00
Factor prestacional 21%		129.365,67
Aportes parafiscales 29%		178.647,83
<b>GASTOS GENERALES</b>		
Publicidad y logística de ventas 10% ingresos (valor anual)		4.404.985
Insumos Variables 2% de costos		
<b>Depreciación</b>	Equipos	<b>3 años</b>
	Maquinaria	<b>5 años</b>
<b>Valor de salvamento</b>		
	Maquinaria	3.000.000,00
	Equipos	1.278.466,33

Fuente: Propia.

### 6.7.1 FLUJO DE FONDOS

Se muestra a continuación el flujo de caja del inversionista, en donde se puede observar que en la parte final de la tabla está el valor de la TIR (Tasa Interna de Retorno), la cual muestra que el proyecto es muy bueno que la TIR es mucho mayor a la TiO (Tasa Interna de Oportunidad), tomando esta última como un valor del 10%.

En cuanto a los ingresos se consultaron los precios de varios productores de Bogotá y se encontró que el precio más económico de las ofertas de compost es de \$550 por kg, de acuerdo con esto se considera que si se quiere entrar a competir en el mercado es necesario tener un precio competitivo y razonable, por lo cual teniendo en cuenta que las características nutritivas del compost obtenido en la planta no son las mismas a las que ofrece el mercado, se opta hacer un descuento del 10% por kg estableciendo el valor en \$495 por kg. A continuación se muestra la figura 36 en donde se evidencia la demanda de compost en Bogotá, esto refleja que hay opciones de venta tangibles.

Figura 36. Demanda de compost en la Sabana de Bogotá.

SECTOR	HECTÁREAS SEMBRADAS	DEMANDA MÁXIMA POTENCIAL (Ton/Mes)
Floricultores	4.237,2	5.837
Horticultores	5.711,0	9.518
Papicultores	31.901	5.318
Ganaderos	102.145	17.000
TOTAL	143.994,2	37.673

Fuente: Resultados entrevistas, estudio de factibilidad del aprovechamiento en compost de residuos verdes producto del corte de césped y poda de árboles en Bogotá.

Retomando lo dicho en el numeral 6.4.2.1, en cada mes se obtendría 2313,73 kg de compost aproximadamente 2,3 Ton/ mes y la figura 36 dice que la demanda está cerca de 37,7 Ton/mes, es decir que la planta estaría en capacidad de generar 6,1 % de la demanda total de Bogotá.

FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA															
EL COMPOST ES OBTENIDO CADA 4 MESES, POR ESO SE DIVIDE CADA AÑO EN 3 TRIMESTRES Y LUEGO SE DEJA UNA COLUMNA CON LA TOTALIDAD POR AÑO															
	\$ COSTO UNITARIO TRIMESTRE	\$ COSTO UNITARIO kg	-	1 trimestre	2 trimestre	3 trimestre	AÑO 1	1 semestre	2 semestre	3 trimestre	AÑO 2	1 semestre	2 semestre	3 trimestre	AÑO 3
<b>INGRESOS</b>															
VENTAS compost				13.214.956	13.214.956	13.214.956	39.644.868	13.875.704	13.875.704	13.875.704	41.627.111	14.569.489	14.569.489	14.569.489	43.708.467
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>13.214.956</b>			13.214.956	13.214.956	13.214.956	<b>39.644.868</b>	13.875.704	13.875.704	13.875.704	<b>41.627.111</b>	14.569.489	14.569.489	14.569.489	<b>43.708.467</b>
<b>EGRESOS</b>	<b>8.198.292</b>	<b>307</b>													
Costos de operación															
Aceleradores de proceso de descomposición EM				180.000	180.000	180.000	540.000	189.000	189.000	189.000	567.000	198.450	198.450	198.450	595.350
Agua para riego				63.826	63.826	63.826	191.479	63.826	63.826	63.826	191.479	63.826	63.826	63.826	191.479
Residuos orgánicos				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulto de melaza				57.447	57.447	57.447	172.342	60.320	60.320	60.320	180.959	63.336	63.336	63.336	190.007
Sacos para empacar el compost				371.961	371.961	371.961	1.115.883	375.681	375.681	375.681	1.127.042	379.437	379.437	379.437	1.138.312
Mantenimiento Equipos				215.217	215.217	215.217	860.870	225.978	225.978	225.978	903.913	237.277	237.277	237.277	949.109
Personal SALARIO				2.464.108	2.464.108	2.464.108	7.392.324	2.562.672	2.562.672	2.562.672	7.688.017	2.665.179	2.665.179	2.665.179	7.995.538
Auxilio Transporte				288.000	288.000	288.000	864.000	302.400	302.400	302.400	907.200	317.520	317.520	317.520	952.560
Factor prestacional 21%				517.463	517.463	517.463	1.552.388	538.161	538.161	538.161	1.614.484	559.688	559.688	559.688	1.679.063
Aportes parafiscales 29%				714.591	714.591	714.591	2.143.774	743.175	743.175	743.175	2.229.525	772.902	772.902	772.902	2.318.706
Publicidad y logística ventas (10%)				1.321.496	1.321.496	1.321.496	3.964.487	1.387.570	1.387.570	1.387.570	4.162.711	1.456.949	1.456.949	1.456.949	4.370.847
Insumos variables				13.465	13.465	13.465	40.394	13.777	13.777	13.777	41.330	14.101	14.101	14.101	42.303
Depreciación															
Equipos				319.617	319.617	319.617	1.278.466	319.617	319.617	319.617	1.278.466	319.617	319.617	319.617	1.278.466
Maquinaria				1.000.000	1.000.000	1.000.000	3.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	3.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	3.000.000
<b>TOTAL EGRESOS</b>				7.527.191	7.527.191	7.527.191	<b>23.116.407</b>	7.782.177	7.782.177	7.782.177	<b>23.892.126</b>	8.048.282	8.048.282	8.048.282	<b>24.701.740</b>
Excendente antes de impuesto				5.687.765	5.687.765	5.687.765	16.528.461	6.093.527	6.093.527	6.093.527	17.734.986	6.521.207	6.521.207	6.521.207	19.006.727
Impuestos				-1.990.718	-1.990.718	-1.990.718	-5.784.961	-2.132.734	-2.132.734	-2.132.734	-6.207.245	-2.282.422	-2.282.422	-2.282.422	-6.652.355
Excendente NETO				3.697.047	3.697.047	3.697.047	<b>10.743.500</b>	3.960.792	3.960.792	3.960.792	<b>11.527.741</b>	4.238.785	4.238.785	4.238.785	<b>12.354.373</b>
<b>Inversión</b>															
Instalaciones (DENTRO DE LA UNIVERSIDAD)				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geomembrana			1.200.000,00												
Equipos															
Tubería (4 unid)			180.000,00												
Palas (2 unid)			56.000,00												
Tanque para estabilización del material			1.766.399,00												
Manguera			150.000,00												
Aspersores (4 unid)			32.000,00												
Tanque para almacenamiento de lixiviados			451.000,00												
Maquinaria (Trituradora de residuos)			15.000.000,00												
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>			18.835.399,00												
Valor de salvamento															
Venta Equipos															
Venta Maquinaria															
<b>TOTAL OTROS INGRESOS</b>															
Otros costos o ingresos ocasionados			-	0											
DEPRECIACIÓN				1.319.617	1.319.617	1.319.617	<b>4.278.466</b>	1.319.617	1.319.617	1.319.617	<b>4.278.466</b>	1.319.617	1.319.617	1.319.617	<b>4.278.466</b>
<b>SALDO FLUJO DE CAJA</b>	<b>5.016.664</b>		<b>(18.835.399,00)</b>	<b>5.016.664</b>	<b>5.016.664</b>	<b>5.016.664</b>	<b>15.021.966</b>	<b>5.280.409</b>	<b>5.280.409</b>	<b>5.280.409</b>	<b>15.806.207</b>	<b>5.558.401</b>	<b>5.558.401</b>	<b>5.558.401</b>	<b>16.632.839</b>
<b>VPN</b>			<b>\$20.380.412,83</b>												
<b>TIR</b>			<b>63,86%</b>												

Según el flujo de fondos mostrado anteriormente se puede observar que se tomó un valor del 2% de los costos para los insumos variables, este valor se toma con el fin de prevenir algún imprevisto, generalmente este porcentaje se establece entre el 2% a 5%, para el presente caso se asignó 2%.

No se tienen en cuenta gastos financieros debido a que la Universidad no tendría que pedir préstamos en el caso que decidiera implementar el proyecto.

Por otra parte, de forma general el flujo de caja del proyecto muestra una tasa interna de retorno (TIR) de:

<b>TIR</b>	63,86%
<b>PROYECTO MUY BUENO, TIR &gt;&gt;&gt; A LA TIO</b>	

Lo cual muestra que el proyecto es muy bueno y vale la pena implementarlo.

## 6.7.2 RELACIÓN BENEFICIO / COSTO

Este es otro indicador que nos permite verificar si el proyecto es rentable o no, posteriormente se muestra la tabla 22 que muestra la relación costo beneficio.

Tabla 22. Relación Costo Beneficio (RB/C)

<b>AÑO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Ingresos</b>	-	39.644.868	41.627.111	43.708.467
<b>Costos</b>	(18.835.399,00)	23.116.407	23.892.126	24.701.740

TiO	0,02	0,1	0,3	0,6
VPNi	\$120.065.662,36	\$84.446.779,78	\$56.186.694,27	\$32.874.246,40
VPNc	\$50.069.111,76	\$40.483.857,77	\$24.327.200,60	\$10.975.915,27

RB/C	2,398	2,086	2,310	2,995
------	-------	-------	-------	-------

Fuente: propia.

Según la tabla 22 la  $R B/C > 1$  por lo tanto  $VPNi/ VPNc > 1$ . Esto quiere decir que el PROYECTO ES RENTABLE.

### 6.7.3 PERIODO DE RECUPERABILIDAD DE LA INVERSIÓN

En este punto se contempla el tiempo en el que el proyecto recupera la inversión inicial de acuerdo con los posibles ingresos que se consideraron, estimados con una  $TiO$  de 10%. (Ver tabla 23)

Tabla 23. Periodo de recuperabilidad de la inversión

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN				
AÑO	0	1	2	3
Ingresos	-	39.644.868	41.627.111	43.708.467
Costos	(18.835.399,00)	23.116.407	23.892.126	24.701.740

$$F = P(1 + TiO)^n$$

$$Po = F1 / (1 + TiO)^n$$

$$Po = 36.040.789$$

TiO	10%
-----	-----

1 mes	3.303.739
6 meses	19.822.434

Fuente: Propia.

De acuerdo con la tabla 23, se puede apreciar que al mes se ha recuperado \$ 3.303.739 por lo tanto a los seis meses \$ 19.822.434, se ha recuperado la inversión por ser un valor superior a \$ 18.335.399.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según el diagnóstico que se realizó de la situación actual del proceso de los residuos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular a partir de la matriz DOFA, se identificaron estrategias para la mejora del centro de compostaje, como tomar materiales usados con el fin de reutilizarlos (tubería y manguera), diseñar el canal perimetral con el fin de prevenir encharcamientos, entre otros.

Se comprobó la hipótesis de trabajo, ya que el tratamiento elegido para el sistema de compostaje en la Universidad fue con aireación natural inducida por tuberías perforadas, con manejo de lixiviados por geomembrana y monitoreo de parámetros fisicoquímicos, como se planteó en el tratamiento cuatro y cinco, con el fin de tomar decisiones frente al manejo operativo de las mismas.

A partir del análisis ANOVA en el que se usaron los datos obtenidos en el seguimiento de los parámetros: temperatura, humedad y pH, se pudo comprobar la hipótesis planteada en el diseño estadístico demostrando que si hay diferencia entre los tratamientos y mejores resultados en el cuarto y quinto.

En cuanto a la caracterización física, química y microbiológica realizada a las muestras de compost con el fin de ver su potencialidad como abono orgánico conforme a la norma NTC 5167 para abonos orgánicos se concluye que los tratamientos cuatro y cinco cumplen a cabalidad los parámetros establecidos en la norma y por tanto son los que mejor respondieron a los métodos usados.

El trabajo realizado mostró que el proceso del compostaje puede funcionar suministrando aire por medio natural con el fin de disminuir la mano de obra que ocasiona el tener que efectuar volteos; aunque es necesario tener en cuenta la

cantidad de aire que entra a las pilas ya que este factor puede ser el causante de disminución en la temperatura y por tanto en la actividad microbiana. Asimismo es fundamental mantener las condiciones óptimas de humedad durante el proceso.

De la caracterización física, química y microbiológica realizada al lixiviado producido durante el proceso en la planta piloto, se puede concluir que no cumple con los parámetros que exige la Norma NTC 5167 para ser catalogado como abono líquido. Sin embargo tampoco es perjudicial para ser aplicado a las plantas o jardines debido a que según el análisis microbiológico no contiene ningún patógeno que pueda atacar o dañar de ninguna forma.

Se diseñó una bomba para la recirculación del lixiviado en base al libro de López Cualla, Elementos para el Diseño de Acueductos y Alcantarillado, teniendo en cuenta la producción de los mismos, aunque es necesario aclarar que la cantidad es mínima por lo cual se optó por considerar la bomba más pequeña que se encontró en el mercado comercial.

El diseño propuesto del sistema de compostaje para el manejo y aprovechamiento de los residuos biodegradables en la Universidad Libre Sede Bosque Popular, contempla una fase de Pretratamiento (trituration y adecuación del material), tratamiento propiamente dicho de compostaje con base a los tratamientos cuatro y cinco que fueron los más efectivos y fase de pos tratamiento (almacenaje del compost).

Con base al beneficio ambiental, es importante resaltar que entre las bondades del compost está el mejorar las propiedades del suelo y suministrar elementos nutritivos a las plantas al usar este tipo de abono, además del beneficio de no disponer 3,3 Toneladas de residuos mensualmente al relleno sanitario Doña Juana.

De acuerdo con la viabilidad financiera del sistema de compostaje en la Universidad se mostró que se pueden obtener ganancias a partir de una inversión relativamente baja, obteniendo una TIR de 63,86% lo cual quiere decir que el proyecto es rentable, en cuanto a la recuperabilidad de la inversión, esto será cerca de los seis meses de producción, finalmente se muestra una relación costo beneficio mayor a uno lo cual muestra que el proyecto es rentable.

Se recomienda probar otro sistema para manejar los residuos provenientes de las cafeterías los cuales son cerca del 17,55 % del total de residuos generados en la Universidad, teniendo en cuenta que no se incluyeron en el diseño propuesto del sistema debido a que estos residuos merecen otro tipo de tratamiento más complejo que el que se plantea.

Asimismo se recomienda cambiar la posición de la tuberías o manguera perforada a la dirección este debido a que en la posición noreste había exceso de suministro de aire, factor que afectó las temperatura en las pilas.

Igualmente se recomienda asignar personal de forma permanente ya que es fundamental para un correcto desarrollo del proyecto tener a una persona que cumpla labores específicas en la planta.

Se recomienda poder instalar un control automatizado para monitorear temperatura, humedad y pH en las pilas con el fin de evaluar las condiciones de una forma más técnica.



## BIBLIOGRAFÍA

ADHETORO E. U. Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Medellín, 2006.

AGUDELO, Nikolay. Manejo de Residuos Orgánicos de Cafeterías y Poda de Céspedes. 2011. Bogotá. p. 9.

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE. Constitución Política de Colombia. República de Colombia. 1991. 130 p.  
{En línea}. {29 de Abril de 2013) Disponible en:  
[http://cms-static.colombiaaprende.edu.co/cache/binaries/articles-186370\\_constitucion\\_politica.pdf?binary\\_rand=1416](http://cms-static.colombiaaprende.edu.co/cache/binaries/articles-186370_constitucion_politica.pdf?binary_rand=1416)

BENAVIDES, Henry., AYALA, Leonardo. Análisis descriptivo de variables meteorológicas que influyen en la calidad del aire de los principales centros industriales del país. Noviembre, 2010, 67 p.  
{En línea}. {25 de Enero de 2014) Disponible en:  
[https://www.siac.gov.co/documentos/DOC\\_Portal/DOC\\_Clima/070912\\_NT\\_Anal\\_VarMeteo\\_Caire\\_ClInd\\_pais.pdf](https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Clima/070912_NT_Anal_VarMeteo_Caire_ClInd_pais.pdf)

BRECHELT. Andrea. Manejo Ecológico del Suelo. República Dominicana, 2004. 28 p.  
{En línea}. {4 de Abril de 2013) Disponible en:  
[http://www.rap-al.org/articulos\\_files/Manejo\\_Ecologico\\_del\\_Suelo.pdf](http://www.rap-al.org/articulos_files/Manejo_Ecologico_del_Suelo.pdf)

CALIDAD MICROBIOLOGICA. Análisis Microbiológico de Levaduras.  
{En línea}. {5 de Febrero de 2014) Disponible en:  
<http://www.calidadmicrobiologica.com/microbiologia/analisis-microbiologico-de-levaduras>

CHAVEZ, Mónica. Producción Trichoderma sp. y Evaluación de su efecto en el cultivo de Crisantemo. Bogotá, 2006, 113. Trabajo de grado (Microbióloga Industrial). Universidad Pontificia Javeriana. Facultad de ciencias.  
{En línea}. {5 de Febrero de 2014) Disponible en:  
<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis286.pdf>

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Resolución CRA 120 de 2000. Colombia. 2000. 8 p.

{En línea}. {7 de Mayo de 2013) Disponible en:

<http://basedoc.superservicios.gov.co/ark-legal/SSPD/details.jsessionid=04BEF168EA32A7569D9B9AD2A80EBF53?docId=8da098b7-8eec-4af6-820f-14e0bd29f313&channel=%2FResoluciones%2F2000&subEspacio=>

-----, Resolución CRA 151 de 2001. Colombia. 2001. 181p.

{En línea}. {7 de Mayo de 2013) Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19990>

-----, Resolución CRA 351 de 2005. Colombia. 2005. 28 p.

{En línea}. {7 de Mayo de 2013) Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18773>

-----, Resolución CRA 352 de 2005. Colombia. 2005. 6 p.

{En línea}. {7 de Mayo de 2013) Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18772>

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 23 de 1973. Colombia. 1973. 3 p.

{En línea}. {29 de Abril de 2013) Disponible en:

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley\\_0023\\_191273.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley_0023_191273.pdf)

-----, Código Sanitario y de Protección al Medio Ambiente. Ley 09 de 1979. Colombia. 1979. 89 p

{En línea}. {29 de Abril de 2013) Disponible en:

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley\\_0009\\_240179.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/ley_0009_240179.pdf)

-----, Ley 99 de 1993. Colombia. 1993. 59 p

{En línea}. {29 de Abril de 2013) Disponible en:

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ley/ley\\_0099\\_221293.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ley/ley_0099_221293.pdf)

-----, Ley 632 de 2000. Colombia. 2000. 27 p

{En línea}. {5 de Mayo de 2013) Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4632>

DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, DAMA. EL Manejo Ambiental de Residuos. Una Estrategia Competitiva. Santafé de Bogotá, Colombia. 173 p.

EIZAGUIRRE, M., MICHINEL, L., ALBORNOZ, J. 2009. Elaboración de compost como estrategia didáctica en educación (Una experiencia docente en el Departamento de Biología y Química de la Escuela de Educación, UCAB, y del colegio Nazaret, Caracas). La Escuela de Educación. Vol., 190, p. 188-195

{En línea}. {27 de Abril de 2013} Disponible en:

[http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAR5249\\_3.pdf#page=188](http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAR5249_3.pdf#page=188)

EMPROTEC EM PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA S.A. Guía de la Tecnología de EM.

{En línea}. {24 de Abril de 2014} Disponible en:

<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Guia%20de%20la%20Tecnologia%20de%20EM.pdf>

FERNANDEZ, Orietta. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. En: Manejo Integrado de Plagas. Vol., 62. (2001); p 96-100.

{En línea}. {05 de Febrero de 2014} Disponible en:

<http://www.umoar.edu.sv/biblio/agricultura/enfermedades/contro%20fitosanitario.pdf>

FUNDACIÓN DE ASESORIAS PARA EL SECTOR RURAL (FUNDASES). Como actúan los microorganismo eficientes (EM).

{En línea}. {25 de Marzo de 2014} Disponible en:

<http://www.fundases.com/home.php?c=39>

GALLEGOS, CEPEDA, & HERNÁNDEZ. Microorganismos benéficos asociados a *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en Guayabo (*Psidium guayaba* L.) de Calvillo, Aguascalientes, México. En: Revista Mexicana de Fitopatología. Vol., 27 (Nov, 2009); 7p.

{En línea}. {5 de Febrero de 2014} Disponible en:

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v27n2/v27n2a3.pdf>

GRIGATTI, M., M. E. Giorgioni, L. Cavani, and C. Claudio. 2007. Vector analysis in the study of the nutritional status of *Philodendron* cultivated in compost-based media. *Scientia Horticulturae*, Vol., 112, p. 448–455

{En línea}. {4 de Abril de 2013} Disponible en:

[http://ac.els-cdn.com/S0304423807000180/1-s2.0-S0304423807000180-ain.pdf?\\_tid=70ac29b8-ac75-11e2-985d-00000aabb0f26&acdnat=1366763297\\_19ad491852934a8435745d846a82145b](http://ac.els-cdn.com/S0304423807000180/1-s2.0-S0304423807000180-ain.pdf?_tid=70ac29b8-ac75-11e2-985d-00000aabb0f26&acdnat=1366763297_19ad491852934a8435745d846a82145b)

GRAJALES G, Tevni. Tipos de Investigación. 2000  
{En línea}. {21 de Enero de 2013} Disponible en:  
<http://tgrajales.net/investipos.pdf>

GUIJARRO, Castro Carlos. Congreso Internacional de Innovación en la Gestión y Tratamiento de los Residuos Municipales, 2009

HERNANDEZ, Alma. Elaboración de Composta Como Fuente de Fertilización Orgánica en el Cultivo de Jitomate (*Lycopersicon esculentum*) en la Localidad de Matachilillo, Jaltocán, Hidalgo. JALTOCÁN, HIDALGO, 2011, 42p. Trabajo de investigación (Técnico Superior Universitario en Agrobiotecnología). Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.  
{En línea}. {16 de abril de 2013}. Disponible en:  
<http://biblioteca.uthh.edu.mx/libro/memorias/TSU/Agrobiotecnolog%C3%ADa/2011/2009026.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. Resolución 150 de 2003. Colombia. 2003. 16 p.  
{En línea}. {7 de Mayo de 2013}. Disponible en:  
[http://www.minambiente.gov.co/documentos/res\\_0150\\_210103.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/res_0150_210103.pdf)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS-ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 5167. Colombia. 2004. 32 p.  
{En línea}. {10 de Mayo de 2013}. Disponible en:  
<http://www.prodigitales.net/multilab/documentos/NTC%205167%20apartes1.1.pdf>

JARAMILLO, Gladys., Zapata, Liliana. Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Antioquia, 2008, 116 p. Monografía para optar el título de Especialistas en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Posgrados de Ambiental.  
{En línea}. {05 de Junio de 2013}. Disponible en:  
[http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf?origin=publication\\_detail](http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf?origin=publication_detail)

KALI, La autoridad en Potasio y Magnesio. Cobre (Cu) en el suelo.  
{En línea}. {24 de Abril de 2014}. Disponible en:  
[http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/copper.html](http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html)

LOPEZ CUALLA. Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado. Colombia. 2003

LOPEZ, Ezequiel. Diseño y Análisis de Experimentos: Fundamentos y Aplicaciones en Agronomía. Guatemala. 2008. 163p.

{En línea}. {03 de Agosto de 2013}. Disponible en:

<http://issuu.com/byrong/docs/disenoyanalisisexperimentos>

LUCENA, C. ROMERA, F.J. ROJAS, C.L. GARCIA, M.J. ALCANTARA, E. PEREZ V, R. 2007. Bicarbonate blocks the expression of several genes involved in the physiological responses to Fe deficiency of Strategy I plants. *Funct Plant Biol* 34:1002–1009.

{En línea}. {24 de Abril de 2014}. Disponible en:

[http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F1920818%2F746139200%2Fname%2FFP07136.pdf&ei=XktZU\\_zHCJDJsQSV34JI&usg=AFQjCNEKa7Z5f2l3tuQGtd9HM4jGkVc-uw&bvm=bv.65397613,d.cWc](http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F1920818%2F746139200%2Fname%2FFP07136.pdf&ei=XktZU_zHCJDJsQSV34JI&usg=AFQjCNEKa7Z5f2l3tuQGtd9HM4jGkVc-uw&bvm=bv.65397613,d.cWc)

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Decreto 605 de 1996. Colombia. 1996. 29 p

{En línea}. {5 de Mayo de 2013} Disponible en:

[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/basilea/NORMAT/DECRETO%20605%2096%20MINDSARROLLO.pdf](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/basilea/NORMAT/DECRETO%20605%2096%20MINDSARROLLO.pdf)

------. Decreto 1713 de 2002. Colombia. 2002. 69 p

{En línea}. {4 de Abril de 2013} Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5542>

------. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título F. Bogotá, 2000.

{En línea}. {21 de Enero de 2013} Disponible en:

<http://www.resol.com.br/textos/TituloF.PDF>

------. Resolución 1096 de 2000. Colombia. 2000. 166 p

{En línea}. {5 de Mayo de 2013} Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38541>

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1505 de 2003. Colombia. 2003. 4 p.

{En línea}. {7 de Mayo de 2013} Disponible en:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8434>

MOLINA GUZMÁN, Ana. MUNERA CHAVERRA, Ana... Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Para la Universidad de San Buenaventura, Sede Medellín. Medellín, 2009, 85 p. Trabajo de grado para optar al título de Ingenieras Ambientales. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería.

{En línea}. {20 de Enero de 2013} Disponible en:

[http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/334/1/Plan\\_Manejo\\_Integral\\_Molina\\_2009.pdf](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/334/1/Plan_Manejo_Integral_Molina_2009.pdf)

MORALES, Gloria. Enterobacterias aisladas en un centro hospitalario de la ciudad de Valledupar y frecuencia de betalactamasas de espectro extendido y betalactamasas inducibles. En: Biociencias. Vol., 6, No 2. (2011) p. 33-40.

{En línea}. {5 de Febrero de 2014} Disponible en:

<http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/revistas2/index.php/biociencias/article/view/228/202>

MOYA, Gustavo. Evaluación de la aplicación de microorganismos eficaces (EM) y derivados de este, en el manejo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano bajo un sistema agroforestal. Costa Rica, Diciembre, 2001. Trabajo de Graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciatura Guácimo. Universidad Earth.

{En línea}. {13 de Mayo de 2013} Disponible en:

[http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/sigatoka\\_negra\\_en\\_sistema\\_agroforestal.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/sigatoka_negra_en_sistema_agroforestal.pdf)

NAVIA, ZEMANATE, VELASCO, PRADO & LÓPEZ. Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). En Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Edición especial No. 2, (165-173).

{En línea}. {23 de Abril de 2014} Disponible en:

<http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/especial-2013/17%20VALUACION%20DE%20DIFERENTES%20FORMULACIONES%20DE%20.pdf>

OCHOA, Isabel. Curso de Compostaje en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).

{En línea}. Fecha. {16 de abril de 2013}. Disponible en:

[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/eeymar/default\\_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMPOST.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMPOST.pdf)

ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo.

{En línea}. Fecha. {25 de marzo de 2014}. Disponible en:

[http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_agronicas/c20021221046e\\_dafo\\_factoresambientalesysuelos.pdf](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronicas/c20021221046e_dafo_factoresambientalesysuelos.pdf)

PEDRAZA, Raúl. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. En: Revista Corpoica –Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Vol., 11 (2010); p. 155-164.

{En línea}. {05 de Febrero de 2014} Disponible en:

<http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Revista/Microorganismos.pdf>

PIMIENTA, Paola. Formación de una Cultura Ecológica en la Escuela: Transformación de Residuos Sólidos Orgánicos en Abonos de Buena Calidad, Como una Alternativa Para Disminuir el Impacto Ambiental Generado Por Estos Residuos. Bucaramanga, 2004, 59 p. Monografía para optar el título de Especialista en Química Ambiental. Universidad Industrial de Bucaramanga.

{En línea}. {23 de abril de 2013}. Disponible en:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/handle/123456789/7103>

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. DE COLOMBIA. Decreto - Ley 2811 de 1974. Colombia. 71 p.

{En línea}. {29 de Abril de 2013} Disponible en:

[http://siatac.siac.net.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=03f34c2f-da0f-4d80-bb12-346b0168680d&groupId=762](http://siatac.siac.net.co/c/document_library/get_file?uuid=03f34c2f-da0f-4d80-bb12-346b0168680d&groupId=762)

QUINTANA, Olivia., PUERTA, Silvia. Impacto del Manejo de los Residuos Sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia, Colombia. En Revista Lasallista de Investigación Vol 1 No 1. 2002. p. 15-21

{En línea}. {28 de abril de 2013}. Disponible en:

<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/174/1/015-021%20Impacto%20del%20manejo%20integral%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20CUL.pdf>

RAVIV, M., Oka, Y., Katan, J., Hadar, Y., Yogev, A., Medina, S., Krasnovsky, A., and Ziadna, H. 2005. High-nitrogen compost as a medium for organic containergrown crops. Bioresource Technology, Vol., 96 (2005); p. 419–427.

{En línea}. {4 de Abril de 2013} Disponible en:

<http://www.sinab.unal.edu.co:2053/science/article/pii/S096085240400224X>

RAVIV, Michael. Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review. Hort Technology, Vol., 15. No 1 (January-March, 2005); p. 52–57.

{En línea}. {21 de Enero de 2013} Disponible en:

<http://horttech.ashspublications.org/content/15/1/52.full.pdf>

RÖBEN, Evan. 2002. Manual de Compostaje Para Municipios. Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador. 68 p.

{En línea}. {07 de abril de 2013}. Disponible en:

<http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeParaMunicipios.pdf>

SAURI, María., NÁJERA, Hugo., RAMIREZ, José., MEJÍA, Gaspar. Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. Ingenieria., Vol 6-1. 2002. P. 13-20

{En línea}. {28 de abril de 2013}. Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexicon/R-0035.pdf>

S. GAJALAKSHMI AND S. A. ABBASI. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. En Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 38, 2008. P. 311–400

{En línea}. {21 de enero de 2013}. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1080/10643380701413633>

SOTO M, D. F., 1996. Evaluación de técnicas de compostaje obtenidas mediante compostaje para el manejo de residuos industriales de palma de aceite (*Elaeias guineensis*, jacq).Citado por: MUÑOZ, J. Compostaje en Pescador, Cauca: Tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medioambientales [Tesis Ingeniero Ambiental] Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración, 2009, p. 9 – 21

{En línea}. {24 de Abril de 2013}. Disponible en:

[http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/Compostaje\\_Pescador.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/Compostaje_Pescador.pdf)

STROM, P.F. 1985a. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid waste composting. Applied Environmental Microbiology, 50, 899–905.

{En línea}. {16 de abril de 2013}. Disponible en:

<http://aem.asm.org/content/50/4/906.full.pdf+html>



STROM, P.F. 1985b. Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting. *Applied Environmental Microbiology*, 50, 907–913  
{En línea}. {16 de abril de 2013}. Disponible en:  
<http://aem.asm.org/content/50/4/899.short>

TCHOBANOGLIOUS, George., THEISEN, Hilary., VIGIL, S. A. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management*. United States: MC Graw Hill, 1993. 978p.

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS BOGOTÁ, D.C. Programa para la gestión de los residuos sólidos orgánicos para la ciudad de Bogotá, D.C. Versión 2. Marzo 2010.393 p.

UNIDAD EJECUTIVA DE SERVICIOS PÚBLICOS (UESP). Resolución 156 de 2003. Colombia. 2003. 13 p.  
{En línea}. {7 de Mayo de 2013}. Disponible en:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=23394>

UNIVERSIDAD DE LA PLATA. 2007. Halla hongo para mejorar los cultivos.  
{En línea}. {5 de Febrero de 2014}. Disponible en:  
<http://pdf.diariohoy.net/2007/02/05/pdf/10-c.pdf>

UNIVERSIDAD LIBRE. Sistema de Gestión Ambiental Académico – Administrativo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá, D.C.- Colombia, 2010.

VARELA, Santiago., BASIL, Gustavo. Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales. En: Varela, S. A. y Aparicio, A. (eds.). Vol. 4. (Marzo de 2011). 11p.  
{En línea}. {21 de enero de 2013}. Disponible en:  
<http://sipan.inta.gob.ar/forestal/pdf/4.UTILIZACIONENMIENDAS.PDF>

WORRELL, William and VESILIND, P. Arne. *Solid Waste Engineering*. Second Edition. United States of America: CENGAGE Learning, 2012, 2002. 427p.

## ANEXO 1

De acuerdo con los análisis hechos por la fuente misma, a continuación se enuncian los procedimientos utilizados.

### 1. Carbono orgánico oxidable total (%C), método analítico NTC 5167 Walkey Black.

#### Equipos y materiales

- Balanza analítica
- Erlenmeyer de 250 ml
- Bureta de 50 ml
- Pipetas aforadas de 20 ml y 10 ml

#### Reactivos

- Agua destilada
- Solución de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1,0 N.
- Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ )
- Ácido fósfórico concentrado ( $H_3PO_4$ )
- Solución indicadora de ortofenantrolina o defenilamina
- Solución de sulfato ferroso amónico 0,5 N

#### Procedimiento

- Pese en un erlenmeyer de 250 ml entre 0,1 g y 0.5 g del producto preparado, como aproximación a 0.0001 g.
- Se adiciona 10 ml de solución de dicromato de potasio 1,0 N, se deja en contacto unos minutos y se agregan 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se agita manualmente durante 1 min y se deja enfriar durante 30 min. A continuación se agrega agua (volumen no mayor de 50 ml ni menor de 20 ml), 5 ml de ácido ortofosfórico y 5 gotas de solución indicadora.
- Si al adicionar la mezcla oxidante ( $K_2Cr_2O_7$  y  $H_2SO_4$ ) la solución se torna verde brillante, se deben duplicar las cantidades añadidas o pesa, menos producto según sea el caso.
- Se prepara paralelamente un blanco de reactivos (10 ml de  $K_2Cr_2O_7$  1,0 N y 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado). Este paso permite tener un blanco de reactivos y valora la normalidad de la solución del sulfato ferroso amónico.
- Se titula el blanco de reactivos con la solución de sulfato ferroso amónico. El cambio de color observado será de un amarillo típico de la solución de dicromato, a un verde brillante. Se registra el volumen (debe ser aproximadamente 20 ml)
- Se titulan las muestras objeto del ensayo, con la solución de sulfato ferroso amónico valorada. El cambio de color observado debe ser desde el amarillo (poco o ningún contenido de carbono) o desde un café rojizo hasta color verde brillante.

## Cálculos

### Normalidad de la solución de sulfato ferroso amónico

$$\text{Normalidad} = \frac{10 \text{ ml}}{V}$$

En donde:

10 ml = volumen de solución de dicromato 1N usado para el blanco

V = Volumen en ml de solución de sulfato ferroso amónico gastado en la titulación

### Contenido de carbono orgánico oxidable total del producto

$$\% \text{ C.O.ox} = \frac{[(V_b \times V_m) \times N \times 0.003 \times 100]}{W_m} \frac{[100 - \% \text{ humedad}]}{100}$$

En donde:

V<sub>b</sub> = volumen en ml de solución de sulfato ferroso amónico gastado en el blanco.

V<sub>m</sub> = volumen en ml de solución de sulfato ferroso amónico gastado en la muestra.

N = normalidad de la solución de sulfato ferroso amónico

W<sub>m</sub> = peso en g de muestra seca

% humedad = contenido de humedad del producto

NOTA: Se debe tener en cuenta el valor de la densidad en caso de haber tomado un peso de muestra.

## 2. Humedad máxima (%), método analítico NTC 5167 gravimetría

### Equipos y materiales

Estufa de secado

Molino

Tamiz N° 35 ASTM (0,5 mm)

Cuarteador

Recipientes para secado en estufa de aproximadamente 400 ml

Balanza (con precisión de 0,01g)

Desecador

### Procedimiento

Se cuarteo la muestra original

Se pesa en el recipiente vacío en el cual se cuantificará la humedad.

Se pesa en el recipiente una cantidad de muestra suficiente como para recolectar 300 g de material seco. (Si es necesario se coloca la misma muestra en dos recipientes)

Lleve el recipiente a la estufa de secado y manténgalo a 70 °C durante 24h.

Se saca en la estufa, se deja enfriar dentro de un desecador hasta peso constante.

Se pesa

Se muele el material en el molino

Se tamiza (tamiz N°. 35 ASTM (0,5 mm)).

Se empaqueta la muestra en recipientes debidamente rotulados.

### **Cálculos**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$$

### **3. Cuantificación de cenizas por el método de pérdidas por volatilización, método analítico NTC 5167 gravimetría**

#### **Equipos y materiales**

- Balanza analítica
- Mufla
- Desecador
- Crisoles de porcelana

#### **Procedimiento**

- Pese aproximadamente 5 g del material preparado en un crisol de porcelana.
- Se coloca el crisol en la mufla y se deja a 650 °C durante 4 h.
- Al cabo de este tiempo, se deja enfriar y se pasa el crisol a un desecador.
- Se registra el peso final.

### **Cálculos**

$$\% \text{ cenizas} = \frac{[\text{peso final} \times 100]}{\text{Peso inicial}} \frac{[100 - \% \text{ humedad}]}{100}$$

$$\% \text{ pérdidas por volatilización} = 100 - \% \text{ cenizas}$$

En dónde.

% humedad = contenido de humedad del producto

### **4. Cuantificación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), método analítico NTC 5167 volumetría**

#### **Equipos y materiales**

- Balanza
- Frascos de vidrio o plástico de 250 ml
- Bomba de vacío
- Embudos Buchner de porcelana
- Erlenmeyers con desprendimiento lateral
- Bureta 10 ml
- Agitador recíproco

#### **Reactivos**

- solución de acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) 1 N pH 7,0
- Etanol 95%
- Solución de cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), 10 %
- Solución de formaldehído, 37% o 40% neutralizada
- Solución de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), 0.1 N valorada

- Fenolftaleína

### Procedimiento

- Pese en un frasco 5 g de muestra preparada
- Se adiciona 100 ml de acetato de amonio 1 N pH 7,0
- Se agita durante 2 h en agitador recíproco o con una varilla de vidrio y se deja en contacto durante la noche
- Se filtra al vacío
- Se lava lentamente el residuo sobre el embudo con 5 porciones de 10 ml de acetato de amonio.
- Luego se lava con 5 porciones de 10 ml cada una, de etanol al 95 %
- Se sustituye el erlenmeyer por otro limpio
- Se lava con 5 porciones de 10 ml cada una, de solución de NaCl al 10 %.
- Desconecte el erlenmeyer y adicione al filtrado 10 ml de formaldehído al 37 %, unas gotas de fenolftaleína y titule con NaOH 0,1 N.
- Se lleva simultáneamente un blanco de reactivos.

### Cálculos

$$\text{C.I.C. cmol (+) kg}^{-1} (\text{me}/100 \text{ g}) = \frac{[(V_{\text{NaOH}} \text{ muestra}) - (V_{\text{NaOH}} \text{ blanco}) \times N_{\text{NaOH}} \times 100]}{W_m} \left[ \frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]$$

En donde:

$V_{\text{NaOH}} \text{ muestra}$  = volumen en ml de NaOH empleado en la titulación de la muestra

$V_{\text{NaOH}} \text{ blanco}$  = volumen en ml de NaOH empleado en la titulación del blanco

$N_{\text{NaOH}}$  = Normalidad de la solución de NaOH

$W_m$  = Peso en gramos de la muestra seca

% humedad = contenido de humedad del producto

## 5. Capacidad de retención de humedad (%), método analítico NTC 5167 gravimetría

### Equipos y materiales

Recipiente de plástico de boca ancha.

Espátula de madera

Probeta de 100 ml

### Procedimiento

#### Procedimiento para determinar la capacidad de retención de agua

- Pese aproximadamente 100 g de material preparado, colóquelos en el recipiente plástico. Añada pequeños volúmenes de agua destilada o desmineralizada (utilizando una probeta).
- Se agita continuamente con la espátula de madera, esto con el fin de eliminar aire y formar poco a poco una masa. De vez en cuando se debe consolidar la muestra golpeando el recipiente suavemente sobre la superficie de trabajo.
- Se adiciona agua hasta llegar a un punto de equilibrio (punto de saturación) cuya evidencia está dada por un contenido de agua suficiente que refleja un brillo metálico sobre la superficie, estado en el cual no absorbe más agua ni la escurre, aunque

habrá un poco de agua libre que asciende a la superficie cuando se deja en reposo.

- Se registra el volumen de agua utilizado. También es posible pesar la totalidad del producto sólido con el agua a punto de saturación.
- Se deja en reposo durante 2 h.
- La pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse durante el reposo. Si la pasta es demasiado húmeda se debe agregar más material, registrando el peso adicional, o si es demasiado dura o se ha perdido el brillo se agrega más agua mezclando nuevamente, registrando el volumen de agua añadido.

### **Cálculos**

#### **Capacidad de retención de agua (porcentaje de saturación)**

Se expresa teniendo en cuenta la siguiente relación:

En donde:

$$\% \text{ Saturación} = \frac{[A \times 100]}{W_m} \frac{[100 - \% \text{ humedad}]}{100}$$

A = Volumen en ml de agua utilizado para alcanzar el punto de saturación.

W<sub>m</sub> = peso en g de la muestra seca

% humedad = contenido de humedad del producto

### **6. pH, método analítico NTC 5167 Potenciometría**

Sobre la pasta saturada preparada para medir la capacidad de retención de humedad se mide al pH, así:

#### **Procedimiento para medir el pH**

- Se calibra el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 7,0 y pH 4,0 (soluciones buffer)
- Se introduce el electrodo de vidrio en la pasta saturada y se registra la lectura.

#### **pH**

Se expresa en unidades de pH.

### **7. Contenido de nitrógeno total (%N), método analítico usado Kjeldahl (Digestor VELD DK6)**

#### **Equipos y materiales**

Tubo de digestión

Bureta 25 ml

Erlenmeyer 250 ml

Balanza analítica

Espátula

Pipeta 10 ml

Digestor VELD DK6

Soporte universal

Nuez de laboratorio

Probeta 50 ml

### Reactivos

Sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ )  
Óxido de mercurio rojo ( $HgO$ )  
Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ )  
NaOH al 35%  
Agua destilada  
Ácido bórico al 2%  
HCl 0,1 N

### Procedimiento para medir %N

- Tome 1 g de muestra diluido en 50 ml de agua destilada y adicione 7 g de Sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), 350 mg de Óxido de mercurio, rojo ( $HgO$ ) y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ )
- Lleve el tubo de digestión con los reactivos añadidos al digestor VELD DK6
- Programe el digestor para dos ciclos el primero de 60 minutos a 200 °C y el segundo 120 minutos a 370 °C, el programa 8 tiene los parámetros establecidos.
- Inicie los ciclos de digestión, antes de encender el equipo verifique el suministro de agua para el scruber
- Terminados los ciclos de digestión, retire el tubo del digestor y deje enfriar
- Adicione a la muestra diferida 50 ml de NaOH al 35% y 50 ml de agua destilada
- Lleve el tubo al equipo de destilación semiautomática VELD UDK 132
- Antes de encender el equipo verifique el suministro de agua para el condensador, el programa 7 tiene los parámetros para realizar la destilación
- Recoja el destilado en 25 ml de solución de ácido bórico al 2%
- Recoja aproximadamente 100 ml de destilado y titule con HCl 0,1 N hasta que el pH de la solución regrese al valor inicial de pH de la solución de ácido bórico.

### Cálculos, contenido de nitrógeno total (%N)

$$\{N_{org}\} = \frac{V(HCl) - V(B) * N(HCl) * 1,4}{g(M)}$$

Donde,

$N_{org}$  = contenido de nitrógeno orgánico (%N)

V (HCl) = volumen de HCl gastado en la titulación de la muestra

V (B) = volumen de HCl gastado en la titulación del blanco

N (HCl) = normalidad del HCl

g (M) = gramos de muestra usados

### 8. Densidad ( $g/cm^3$ ), método analítico NTC 5167 gravimetría

#### DENSIDAD REAL

##### Equipos y materiales

Balanza (con precisión de 0,01 g)

Probeta de vidrio de 50 ml de capacidad  
Embudo

### **Procedimiento**

Pese la probeta vacía, limpia y seca. Tare la balanza  
Se deja caer libremente una cantidad de material suficiente para obtener una lectura cercana a 30 cm<sup>3</sup>.  
Registre el volumen ocupado por el material  
Se determina el peso de la probeta con el material  
Se realizan tres determinaciones sobre muestras diferentes

### **Cálculos**

La densidad del producto se expresa en g/cm<sup>3</sup> y se calcula según la ecuación:

$$\text{Densidad real} = \frac{[W_2 - W_1]}{V}$$

En donde

W<sub>1</sub> = peso en g de la probeta vacía

W<sub>2</sub> = peso en g de la probeta con el material

V = volumen ocupado por el material en la probeta, expresado en cm<sup>3</sup>

El resultado será el promedio de las tres determinaciones.

## **9. Magnesio total (Mg), método analítico absorción atómica**

Rango de linealidad hasta 0,5 ppm  
Concentración de calibración 0,3 ppm

### **Equipos y materiales**

Equipo absorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300  
Muestra a analizar

### **Reactivos**

Muestras patrón de magnesio: 0,1 – 0,2 – 0,3 – 0,4 y 0,5 ppm

### **Procedimiento**

Establecido en el manual del equipo "Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy"

Procedimiento "Mg (12) "

## **10. Calcio Total (Ca), método analítico espectrofotometría UV (Kit Merck Ca)**

### **Equipos y materiales**

Spectroquant Pharo 300 MERCK  
Kit MERCK Ca 1.14815.0001  
Celdas para espectrofotometría UV



**Reactivos**

Ca-1

Ca-2

Ca-3

**Procedimiento**

Establecido para determinar Ca 1.14815.0001

- Tomar 0,10 ml de muestra
- Añadir 5,0 ml de reactivo Ca-1
- Añadir 4 gotas de reactivo Ca-2
- Añadir 4 gotas de reactivo Ca-3
- Dejar reposar por 8 minutos
- Depositar en la celda
- Llevar a la cubeta del equipo y tomar la lectura

**11. Hierro total (Fe), método analítico espectrofotometría UV (Kit Merck Fe)****Equipos y materiales**

Spectroquant Pharo 300 MERCK

Kit MERCK Fe 1.14761.0001

Celdas para espectrofotometría UV

**Reactivos**

Fe-1

**Procedimiento**

Establecido para determinar Fe 1.14761.0001

- Tomar 5,0 ml de muestra
- Añadir 3 gotas de reactivo Fe-1
- Mezclar
- Dejar reposar por 3 minutos
- Depositar en la celda
- Llevar a la cubeta del equipo y tomar la lectura

**12. Cobre (Cu), método analítico espectrofotometría UV (Kit Merck Cu)****Equipos y materiales**

Spectroquant Pharo 300 MERCK

Kit MERCK Cu 1.14767.0001

Celdas para espectrofotometría UV

**Reactivos**

Cu-1A

Cu-2A

**Procedimiento**

Establecido para determinar Cu 1.14767.0001

- Tomar 10,0 ml de muestra
- Añadir 1 cucharada rasa (verde) del reactivo Cu-1A
- Añadir 5 gotas del reactivo Cu-2A
- Dejar reposar por 5 minutos
- Depositar en la celda
- Llevar a la cubeta del equipo y tomar la lectura

**13. Manganeso (Mn), método analítico espectrofotometría UV (Kit Merck Mn)****Equipos y materiales**

Spectroquant Pharo 300 MERCK

Kit MERCK Mn 1.14770.0001

Celdas para espectrofotometría UV

**Reactivos**

Mn-1A

Mn-2A

Mn-3A

**Procedimiento**

Establecido para determinar Mn 1.14770.0001

- Tomar 5,0 - 10,0 o 20,0 ml de muestra
- Añadir 8 gotas de Mn-1A y mezclar
- Añadir 4 gotas del reactivo Mn-2A y mezclar
- Dejar reposar por 2 minutos
- Añadir 4 gotas del reactivo Mn-3A y mezclar
- Dejar reposar por 5 minutos
- Depositar en la celda
- Llevar a la cubeta del equipo y tomar la lectura

**14. Sodio (Na), método analítico absorción atómica****Equipos y materiales**

Rango de linealidad hasta 1 ppm

Concentración de calibración 1 ppm

**Equipos y materiales**

Equipo absorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300

Muestra a analizar

**Reactivos**

Muestras patrón de sodio: 0,1 – 0,3 – 0,5 – 0,7 y 1,0 ppm

Preparación de la solución patrón de Na. Tomar 0,0254 g de NaCl y llevar a 1 litro con agua destilada (10 ppm de Na)

**Procedimiento**

Establecido en el manual del equipo "Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy"

Procedimiento "Na (11) "

**15. Potasio (K), método analítico espectrofotometría UV (Kit Merck K)****Equipos y materiales**

Spectroquant Pharo 300 MERCK  
Kit MERCK Mn 1.14562.0001

**Reactivos**

K-1K  
K-2K

**Procedimiento**

Establecido para determinar K 1.14562.0001

- Filtrar las soluciones turbias de la muestra
- Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo: pH 3-12
- En caso necesario corregir el pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido sódico o ácido sulfúrico
- Tomar 2,0 ml de muestra en una cubeta de reacción y mezclar
- Comprobar el pH intervalo previsto: pH 5 -11,5
- Añadir 6 gotas de K-1K y mezclar
- Añadir 1 micro cucharada azul de K-2K, cerrar con tapa roscada
- Agitar intensamente la cubeta para disolver la sustancia sólida
- Dejar reposar por 5 minutos
- Llevar la cubeta al equipo y tomar la lectura

**16. Fósforo total (P), método analítico espectrofotometría UV (Kit Merck P)**

Determinación de fósforo total = suma de ortofosfatos, polifosfatos y organofosfatos.

**Equipos y materiales**

Spectroquant Pharo 300 MERCK  
Kit MERCK Mn 1.14543.0001  
Celdas para espectrofotometría UV

**Reactivos**

P-1K  
P-2K  
P-3K

**Procedimiento**

Establecido para determinar P 1.14543.0001

- Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo: pH 0-10
- En caso necesario corregir el pH añadiendo gota a gota solución diluida de ácido sulfúrico
- Tomar 5,0 ml de muestra en una cubeta de reacción, cerrar con la tapa roscada y mezclar
- Añadir 1 dosis de P-1K con el dosificador verde, cerrar con la tapa roscada
- Calentar la cubeta durante 30 min a 120 °C (100 °C) en el termorreactor
- Sacar la cubeta del termorreactor, dejarla enfriar a temperatura ambiente en un soporte para tubos de ensayo
- Elegir método 3-8-0
- Añadir 5 gotas de P-2K cerrar con la tapa roscada y mezclar
- Añadir 1 dosis de P-3K con el dosificador azul, cerrar con la tapa roscada
- Agitar intensamente la cubeta para disolver la sustancia sólida
- Dejar reposar por 5 minutos
- Introducir aproximadamente 10 ml de agua destilada en una cubeta de 16 mm vacía (no añadir reactivos) cerrar con la tapa roscada (cubeta del blanco)
- Colocar la cubeta del blanco en el compartimiento para cubetas. Pulsar ZERO
- Colocar la cubeta de la muestra en el compartimiento para cubetas. Hacer coincidir la raya de marcado de la cubeta con la marca de fotómetro. Pulsar TEST.

## **17. Cadmio (Cd), método analítico absorción atómica**

### **Equipos y materiales**

Rango de linealidad hasta 2 ppm

Concentración de calibración 2,0 ppm

### **Equipos y materiales**

Equipo absorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300

Muestra a analizar

### **Reactivos**

Muestras patrón de cadmio: 0,25 – 0,5 – 1,0 – 2,0 ppm

### **Procedimiento**

Establecido en el manual del equipo "Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy"

Procedimiento "Cd (48) "

## **18. Cromo (Cr), método analítico absorción atómica**

### **Equipos y materiales**

Rango de linealidad hasta 5,0 ppm

Concentración de calibración 4,0 ppm

### **Equipos y materiales**

Equipo absorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300

Muestra a analizar

**Reactivos**

Muestras patrón de cromo de 1,0 – 2,0 – 3,0 – 4,0 – 5,0 ppm

**Procedimiento**

Establecido en el manual del equipo "Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy"

Procedimiento "Cr (24) "

**19. Mercurio (Hg), método analítico absorción atómica****Equipos y materiales**

Rango de linealidad hasta 300 ppm

Concentración de calibración 200 ppm

**Equipos y materiales**

Equipo absorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300

Muestra a analizar

**Reactivos**

Muestras patrón de mercurio: 10 – 50 – 100 – 200 – 300 ppm

**Procedimiento**

Establecido en el manual del equipo "Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy"

Procedimiento "Hg (80) "

**20. Níquel (Ni), método analítico absorción atómica****Equipos y materiales**

Rango de linealidad hasta 2 ppm

Concentración de calibración 2 ppm

**Equipos y materiales**

Equipo absorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300

Muestra a analizar

**Reactivos**

Muestras patrón de níquel: 0,1 – 0,5 – 1,0 – 2,0 ppm

**Procedimiento**

Establecido en el manual del equipo "Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy"

Procedimiento "Ni (28) "

## **21. Plomo (Pb), método analítico absorción atómica**

### **Equipos y materiales**

Rango de linealidad hasta 20 ppm

Concentración de calibración 20 ppm

### **Equipos y materiales**

Equipo absorción atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300

Muestra a analizar

### **Reactivos**

Muestras patrón de níquel: 3,0 – 9,0 – 18,0 – 20,0 ppm

### **Procedimiento**

Establecido en el manual del equipo "Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy"

Procedimiento "Pb (82) "